PONTS EN FIL DE FER

PARIS. — DE L'IMPRIMERIE DE RIGNOUX,
RUE DES FRANCS-BOURGEOIS-S.-MICHEL, N° 8.

DES

PONTS EN FIL DE FER;

PAR SEGUIN AÎNÉ.

Seconde Édition.



A PARIS,
CHEZ BACHELIER, LIBRAIRE,
QUAI DES AUGUSTINS, N° 55.

1826.

A MONSIEUR BECQUEY,

CONSEILLER D'ÉTAT,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

MONSIEUR,

Permettez que j'aie l'honneur de vous offrir le fruit de mes premiers travaux, dans une carrière où je regarde quelques succès déjà obtenus, comme dus aux communications que j'ai eues avec les divers membres du Corps des Ponts et Chaussées, dont vous êtes le Chef.

L'accueil favorable que vous avez bien voulu accorder au nouveau système de ponts suspendus que nous avons eu l'honneur de vous présenter, et la bienveillance que j'ai trouvée auprès des Ingénieurs chargés de discuter ce système

dans l'application que j'en ai proposée pour le pont à établir sur le Rhône, entre Tain et Tournon, me font espérer que vous daignerez accepter ce faible tribut de ma reconnaissance.

Je suis avec respect,

MONSIEUR LE DIRECTEUR GÉNÉRAL,

Votre très-humble et très-obéissant serviteur,

SEGUIN AÎNÉ.

INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES.

RAPPORT

SUR UN MÉMOIRE RELATIF AUX PONTS EN FIL DE FE

Présenté à l'Académie Royale des Sciences, par M. Seguin, *d'Annonay.*

(Extrait du procès verbal de la séance du lundi 26 janvier 1824.)

L'ACADÉMIE nous a chargés, MM. de Prony, Molard, Fresnel moi, de lui rendre compte d'un Mémoire de M. Seguin, d'Annon: sur un système de ponts suspendus au moyen de câbles de fil fer.

Le succès d'une première expérience, et l'économie résultant ce système de construction, méritent à juste titre de fixer l'atte tion de l'administration publique.

Un pont suspendu, destiné au passage des gens de pied, a dé été établi à Annonay par M. Seguin lui-même, et ce pont, de 18 m tres d'ouverture entre ses deux culées, n'a coûté que la modiq somme de 50 fr., suivant les détails qu'on en trouve dans la *Bibli thèque universelle* de M. le professeur Pictet, et dans les *Annal de l'Industrie nationale*, n° 38.

Encouragé par ce premier essai, M. Seguin s'est occupé d'u projet plus considérable, celui de substituer au bac à l'aide duque on a communiqué jusqu'à présent entre les deux villes de Tain e de Tournon, situées sur le Rhône, à l'opposite l'une de l'autre, u

pont fixe suspendu à des câbles ou faisceaux de fil de fer, qui seront tendus entre deux culées et une pile intermédiaire au milieu du fleuve.

Ce projet, soumis à l'examen du Conseil des Ponts et Chaussées, ayant été jugé digne de son approbation le 30 septembre 1823, MM. Seguin se sont chargés de l'exécuter eux-mêmes, à leur frais, moyennant la concession qui leur serait faite, pendant quatre-vingt-dix-neuf ans, d'un droit de péage destiné à opérer le remboursement du capital et des intérêts des sommes dont ils feront les avances.

Dans cet état de choses, les commissaires de l'Académie n'ont point à donner leur avis sur un système de construction que des juges compétens ont approuvé, et dont le Gouvernement est au moment d'autoriser l'entreprise. Mais, outre la description de ce système de pont, le Mémoire de M. Seguin contient les résultats d'expériences nombreuses sur la force de cohésion et d'élasticité du fer, c'est-à-dire sur la résistance que des barres prismatiques ou cylindriques, tirées suivant leur longueur, opposent à leur rupture.

Depuis Muschenbroeck, qui s'en occupa un des premiers, il a été fait beaucoup de recherches pour déterminer la cohérence des barres ou fils métalliques; ces recherches ont été multipliées, spécialement sur le fer, en France et en Angleterre (1). M. Duleau, avantageusement connu de l'Académie, a inséré, dans son *Essai théorique et expérimental sur la résistance du fer forgé*, un tableau de toutes les expériences faites jusqu'à l'époque de 1820. Il résulte de ce tableau, que cette résistance, par millimètre carré, est de 44 ou 45 kil.

D'après les observations de M. Seguin, cette résistance moyenne a été de 40 kil. pour des barres dont les dimensions ont varié

(1) Rondelet, *Art de bâtir*, tome IV. — Barlow, *Strenght of timber*.

depuis $0^m,0045$ jusqu'à $0^m,0315$ de côté; ce qui diffère peu résultats déjà connus.

On remarque cependant que la force de cohésion des barres fer forgé devient d'autant plus considérable que ces barres sont d moindre équarrissage ou d'un moindre calibre.

Ainsi cette force est de 61 kil. pour des barres de $0^m,0045$ côté, tandis qu'elle n'a été trouvée que de 21 kil. environ, c' à-dire trois fois moindre, pour des barres de $0^m,0315$ sur $0^m,02$ ce qui tient indubitablement à la nouvelle disposition que pr nent entre elles les molécules de fer, lorsqu'il est plus fortem corroyé.

Le corroyage des barres et le passage des fils à la filière étab sent à leur surface une espèce d'épiderme plus dense que l partie intérieure. Cet épiderme constitue une partie de la force occupe relativement une plus grande partie de l'aire transvers dans les petites pièces que dans celles de dimensions plus forte

M. Rondelet a éprouvé qu'en coupant cet épiderme la force d'u barre diminuait sensiblement, quoique ses dimensions transv sales restassent, à très-peu près, les mêmes.

Ces faits ont été confirmés par vingt-quatre séries d'expérien que M. Seguin a faites sur des fils de fer dont le diamètre a va depuis un quart de millimètre jusqu'à 6 millimètres. La col rence moyenne de ces fils a été trouvée de 60 kil. par millimè carré : cette cohérence est, comme on voit, à celle du fer en bar dans le rapport de 3 à 2, et même de 3 à 1, lorsque les barres so de forte dimension.

Il est à remarquer encore que les fils de fer les plus fins, ceu par exemple, qui sont employés à la fabrication des cardes, o une résistance de 80 kil. par millimètre carré, tandis que d fils d'un diamètre vingt-quatre ou vingt-cinq fois plus considéi ble, n'ont une force de cohésion que d'environ 60 kil.

Toutes ces expériences ont été faites sur des fils de fer tels qu'

ortent de la filière, et qu'on les trouve dans le commerce. Ces fils erdent quelquefois jusqu'à la moitié de leur résistance lorsqu'ils nt été recuits. Ceci paraît tenir, d'une part, au changement de isposition des molécules, occasioné par la haute température à iquelle ils ont été exposés; et, d'autre part, à la formation d'une etite couche d'oxyde de fer qui se forme à la surface de ces fils, et lont on doit déduire l'épaisseur de leur diamètre primitif.

Les résultats des expériences que nous venons de rapporter lonnent plus de certitude à l'expression numérique de la cohéence du fer forgé ou tiré à la filière. Nos connaissances positives ur cette matière s'accroissent ainsi par le travail de M. Seguin. Iais il ne s'est pas borné à observer sous quelle charge s'opère la upture des fils mis à l'épreuve : il a fait une série d'expériences sur 'allongement de ces fils par l'action des poids dont on les charge sucessivement. Représentant ces poids par les abscisses d'une courbe lont les ordonnées représentent les allongemens opérés, on a reonnu que cette courbe s'éloignait de plus en plus de son axe en ui présentant sa convexité; ce qui revient à dire que des poids égaux ajoutés successivement à la charge soutenue par le fil, s'alongent de quantités différentes et toujours croissantes, jusqu'au noment de sa rupture, phénomène qu'il faut se borner à énoncer usqu'à ce que de nouvelles observations conduisent, s'il est possible, à l'expliquer d'une manière satisfaisante.

En attendant ces explications, les expériences de M. Seguin ont prouvé d'une manière incontestable que la cohérence du fil de fer est plus grande que celle du fer en barre. Son projet de substituer des câbles ou faisceaux de fil de fer à des chaînes ou à des barres de ce métal pour la suspension des ponts, est donc suffisamment motivé; ces expériences ont d'ailleurs été faites avec soin et précision. Les grands travaux dont l'auteur va être chargé ne peuvent manquer de lui procurer les moyens d'en faire de nouvelles.

Nous pensons qu'il doit être encouragé à les continuer, et i[n]vité à communiquer à l'Académie les résultats qu'il obtiendra.

Signé De Prony, Fresnel, Molard;
Girard, *Rapporteur*.

L'Académie approuve le rapport et en adopte les conclusions.

Certifié conforme :

Le Secrétaire perpétuel pour les Sciences Mathématiques,
Baron Fourier.

EXTRAIT DU RAPPORT de l'Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées du département de l'Ardèche, concernant les épreuves faites au Pont suspendu en fil de fer, sur le Rhône, entre Tain et Tournon, en exécution de l'Ordonnance royale du 22 janvier 1824.

Le 21 août 1825, à la demande de MM. Seguin frères, concessionnaires du pont suspendu en fil de fer, entre Tain et Tournon, l'ingénieur en chef du département de l'Ardèche, soussigné, s'est transporté dans la ville de Tournon pour procéder aux épreuves prescrites par les conditions de la concession annexée à l'ordonnance royale du 22 janvier 1824, afin de reconnaître si le concessionnaire pourrait être mis en jouissance, et si le pont pouvait être livré sans danger au public.

Ayant reconnu, 1° que toutes les maçonneries qui servent de support étaient très solidement construites, avec les matériaux les plus durs du pays et avec les meilleures chaux hydrauliques des départemens voisins; que les mortiers, à l'extérieur, avaient acquis une consistance au delà de celle que l'on pouvait espérer après un si court espace de temps, par les soins que l'on avait pris dans la fabrication;

2° Que les amarres et points d'attache étaient solidement établis, avec toute l'intelligence, et la précision la plus scrupuleuse;

3° Que le système de suspension présentait, au premier aspect, la plus grande solidité;

4° Que le plancher suspendu offrait également le degré de solidité et de fixité que l'on pourrait désirer dans ce nouveau système de communication;

5° Enfin, que, dans l'état actuel, le pont et ses accessoires étaient suffisamment avancés pour que ce passage fût livré au public, s'il pouvait supporter les épreuves prescrites par l'ordonnance royale, et que, dans ce même état, il y avait lieu à lui faire subir ces épreuves, pour, d'après leur résultat, proposer de mettre le concessionnaire en jouissance, conformément à l'article 3 de l'ordonnance royale.

L'ingénieur en chef soussigné, après avoir pris les dispositions nécessaires pour s'assurer de la courbure du polygone funiculaire chargé du seul poids du pont, a procédé aux épreuves de la manière suivante :

On a transporté sur le plancher, et entre les trottoirs, élevés de 25 centimètres, du gravier de rivière que l'on plaçait dans une caisse sans fond, contenant 1000 kil. Cette caisse, placée de deux mètres en deux mètres, était successivement enlevée et replacée à côté du tas précédent. On étendait ensuite le gravier pour égaliser la charge, et l'on avait ainsi une couche de 2 mètres de largeur sur environ 13 centimètres d'épaisseur, uniformément répartie sur toute la travée du pont.

On a choisi pour soumettre à l'épreuve la travée du côté de Tain, comme la moins favorable à l'expérience, attendu que la pile et la culée sont entièrement fondées sur bétons, tandis que la culée du côté de Tournon est fondée sur le rocher, à fleur des basses eaux.

Après avoir chargé le pont de 12,000 kil., on a constaté par deux récolemens la courbure des chaînes de suspension : la flèche opérée par cette première charge a été trouvée de 15 centimètres au milieu, ainsi qu'il en est rendu compte dans le procès verbal en date du 22 du présent mois, et comme on le voit dans l'épure des courbes prises dans les différens états de la charge.

Un second chargement de 14,000 kil., portant la charge totale à 26,000 kil., a donné un second abaissement de 45 millimètres, et

une flèche totale de 195 millimètres; enfin, par un troisième chargement, on a complété une charge uniforme, répartie sur la travée, de 45,000 kil., formant la demi-épreuve prescrite par l'ordonnance.

Dans cet état, on a fait une troisième reconnaissance de la courbure des câbles de suspension: l'abaissement de la flèche, qui était de 195 millimètres sous une charge de 26,000 kil., a été réduit à 12 centimètres, par un rehaussement de 75 millimètres; rehaussement opéré par l'abaissement des points extrêmes, lesquels s'étaient élevés lorsque la charge avait eu lieu par le milieu du pont, et qui s'abaissaient insensiblement à mesure que la charge se portait à l'extrémité.

Dans cet état, on a examiné avec une scrupuleuse attention toutes les parties du pont; aucune fente, aucun ébranlement ne s'est manifesté dans les paremens extérieurs des supports.

Deux niveaux à bulles d'air avaient été placés au sommet de la pile, un de chaque côté des câbles ; deux autres ont été également placés sur la culée. On a observé à diverses reprises la situation des bulles d'air : elles n'ont manifesté pendant plus de cinq heures aucun mouvement de translation autre que celui que peut opérer la variation de température. Ils étaient pendant toute l'observation à l'abri du soleil par une seule petite planche, qui les couvrait à environ 10 centimètres au-dessus: le mouvement de translation, sur une de celles qui étaient sur la pile, a été, au plus, de 3 millimètres; sur la seconde, nul. Les niveaux placés sur la culée n'ont pas éprouvé de mouvement sensible et appréciable ; on peut donc affirmer avec assurance que les maçonneries n'ont éprouvé aucun effet sensible, et d'aucune espèce, sous une charge de 45,000 kil. Les cordes verticales paraissaient bien ostensiblement, par leur peu de tension, n'avoir pas subi toute la charge qu'elles sont destinées à supporter. D'après toutes ces observations, l'on a pensé que l'on

pouvait avec toute assurance donner au pont une surcharge au delà de celle de 45,000 kil.

En conséquence, on a fait transporter sur différentes parties de la travée, et à d'égales distances les unes des autres, une charge de 13,000 kil. Cette surcharge a occasioné un nouvel abaissement dans le milieu, de 25 millimètres : les points intermédiaires se sont également abaissés, l'un de 25 millimètres, du côté de Tain, et de l'autre 35 millimètres du côté de Tournon; de telle sorte que la flèche totale de l'abaissement était de 145 millimètres, sous une charge de 58,000 kil.

On a de nouveau examiné les maçonneries, les supports et amarres: il ne s'est rien manifesté qui pût donner lieu à observation.

Les bulles d'air des niveaux n'ont subi aucun changement; les paremens verticaux de la pile et de la culée ont parfaitement conservé leur aplomb; aucune gerçure ne s'est manifestée dans les vernis des cordes; aucun fil n'a cassé, ni dans les câbles ni dans les cordes verticales, qui même n'avaient pas encore tout leur degré de tension.

Dans cet état, on a régalé uniformément le gravier, dont le poids total était de 58,000 kil., et on s'est disposé à faire subir au pont l'épreuve d'une force vive, appliquée sur chaque point du pont ainsi chargé. En conséquence, deux voitures ont été chargées, l'une de sable et l'autre de pierres, la première pesant 2,550 kil., et la seconde 3,840 kil., non compris les chevaux; en tout, 7,900 kil., chevaux compris.

Les deux voitures sont entrées sur le pont immédiatement à la suite l'une de l'autre, par la travée non chargée, et elles se sont arrêtées sur le milieu, et un peu plus vers la culée. Dans cette position on a mesuré l'abaissement opéré sur le milieu de la corde de suspension : cet abaissement total, au-dessous de la corde primitive, a été trouvé de $0^{m},325$, ou 180 millimètres au-dessus de celle opérée par une charge uniformément répartie de 58,000 kil.

On a remarqué pendant le passage de la voiture des inflexions dans la lisse supérieure du parapet, dont l'abaissement et le rehaussement suivaient les différentes positions de la charge.

Les hauteurs prises à deux autres points intermédiaires ont donné un abaissement de 24 centimètres au-dessous des points primitifs. Pendant que la charge était stationnaire au milieu de la travée, on prit la disposition de cette courbe : deux observateurs placés, l'un sur la pile, et l'autre sur la culée, ont remarqué pendant le passage des voitures sur le pont une très légère agitation, un mouvement de trépidation dans les bulles des niveaux. Cette agitation était plus précipitée pendant qu'elles traversaient la travée non chargée, et plus lente lorsqu'elles ont traversé la travée chargée d'un lit de gravier d'environ 16 centimètres; les bulles sur la pile ont eu un mouvement presque imperceptible de translation, d'environ 1 millimètre de côté et d'autre, suivant que la charge était sur l'une ou l'autre travée. Ce mouvement de translation ne peut être attribué à une inflexion dans les murs de la maçonnerie, mais bien au mouvement de vibration communiqué par le roulage, et qui était plus précipité du côté où était la voiture.

Aucun sable ou gravier ne s'est détaché du mortier brut, dans les joints et sur les faces intérieures des voûtes; à peine les observateurs placés sur la pile ont-ils éprouvé l'effet de la vibration que l'on ressent dans les maisons pendant le passage d'une voiture dans la rue.

Cette épreuve, pendant laquelle une travée du pont a supporté un poids de 65,900 kil., n'a donné lieu à aucun mouvement qui pût laisser des craintes sur la solidité de la maçonnerie, malgré qu'elle fût encore très-fraîche; leur solidité, eu égard au poids qu'elles auront à supporter, est donc indépendante de la cohésion des mortiers.

On fait observer que, pendant que les deux voitures chargeaient ainsi successivement chaque point du pont d'un poids de 7,900 kil.

indépendamment de la charge uniformément répartie de 58,000 kil., la même travée était couverte d'environ cinquante personnes, ouvriers ou curieux, dont on n'apprécie pas ici le poids. On se proposait de borner ici les épreuves, lorsque deux voitures de rouliers, pesant chacune environ 5,000 kil., non compris les chevaux, se sont présentées pour passer le Rhône; on leur a proposé de passer sur le pont, en payant au fermier du bac ledit passage.

Il a fallu, pour monter une rampe encore imparfaite, mettre sept chevaux à chacune de ces voitures, ce qui a élevé le poids total de chacune à 7,900 kil., compris les chevaux. Il y avait au moins cinquante personnes sur la travée, évaluées 3,250 kil., à raison de 65 kil. par personne; la charge stationnaire était de 58,000 kil.; ce qui produit une charge totale de 69,150 kil., dont 7,900 en mouvement, et se portant sur chaque point du pont.

Pendant le passage de chacune de ces deux voitures, les observateurs, dont l'un était l'Ingénieur en chef, placés sur la pile et la culée, ont remarqué des effets absolument les mêmes que ceux qui ont eu lieu au passage des premières voitures; les mêmes mouvemens d'abaissement et d'exhaussement dans la lisse supérieure des parapets ont été également observés.

Les maçonneries n'ont pas éprouvé plus d'ébranlement; enfin, en dernier résultat, le pont a été chargé d'un poids de 69,150 kil., supérieur à celui de trois personnes par mètre carré, que M. Navier a indiqué comme le *maximum* de la charge à faire supporter aux ponts suspendus; car 84 mètres de longueur sur 4 de largeur donnent une superficie de 352 mètres, pouvant contenir 1,056 personnes à 65 kil., ce qui donne une charge de 68,640 kil., inférieur à 69,150 kil., que le pont a supporté sans autre altération que la déformation passagère dans la courbure des cordes.

Ces épreuves ont été faites en présence de M. le chevalier de La Roque, sous-préfet de Tournon, de M. Carron, inspecteur divisionnaire des Ponts et Chaussées, de M. Chabord, ingénieur ordi-

naire de la Drôme, des ingénieurs ordinaires du département de l'Ardèche et de la Drôme, de M. Pierre Montgolfier, et de MM. Seguin frères.

Il a été rédigé un procès verbal succinct, qui constate la nature des épreuves et de leurs résultats, revêtu des signatures des personnes qui ont assisté et coopéré à l'exécution desdites épreuves.

Le lendemain 23, la travée était entièrement déchargée et livrée à son propre poids. On a de nouveau mesuré la courbure des cordes, et l'on a reconnu qu'elle n'était pas entièrement revenue dans son état primitif; il est resté un abaissement de 57 millimètres: cet abaissement a pour cause probablement le resserrement des pièces du parapet dans leurs assemblages, et un léger allongement dans les faisceaux d'amarres passant derrière les culées, et appliqués en arc de cercle sur le sommet de la pile, lesquels, à raison du frottement, n'ont pu reprendre leur état primitif.

Après s'être assuré de la solidité du pont et du poids qu'il peut supporter sans éprouver la moindre altération, l'ingénieur en chef a porté son attention sur les autres conditions du cahier des charges, sur la hauteur du plancher au dessus des plus hautes eaux connues, celles de 1812.

Les dispositions du cahier des charges, à cet égard, portant que le dessous des poutrelles sera établi à 30 centimètres au-dessus desdites eaux pour les culées, et à $2^{m},80$ près de la pile, après avoir mesuré au niveau la hauteur des poutrelles au-dessus du repère connu des eaux de 1812, il a été reconnu que la hauteur prescrite par l'ordonnance a été dépassée, en faveur de la navigation, de 12 centimètres près la pile, et de 50 centimètres près la culée; ce qui porte, pour l'une $2^{m},92$, au lieu de $2^{m},80$, et pour l'autre, $0^{m},80$, au lieu de $0^{m},30$.

Le chemin de halage près la culée, du côté de Tain, a été établi conformément aux dimensions prescrites par le cahier des

charges : il fait partie de la construction de la culée, dont il assure la fixité; et il faut, pour qu'il devienne utile à la navigation, qu'on le fasse communiquer avec le chemin de halage par des ouvrages qui doivent être au compte de l'Administration, et dont le projet sera incessamment soumis à son approbation.

Il résulte de ce qui a été dit ci-dessus, que le pont, dans l'état d'avancement où il est, peut être, sans le moindre embarras ni danger, livré au public pour faire toute espèce de service, en imposant aux concessionnaires l'obligation de ne laisser faire aucun encombrement sur le pont, et se soumettant à tous les règlemens en usage pour la police des ponts soumis au péage.

PRÉFACE.

La première édition de cet ouvrage ne pouvait être regardée que comme présentant, à la suite de quelques expériences, des données théoriques sur la manière d'envisager la construction des ponts en fil de fer. Quoiqu'il fût aisé de prévoir que ces théories seraient confirmées par l'expérience, il était bon cependant de montrer, par une grande application, que les principes simples, médités suffisamment, trompent rarement lorsqu'il s'agit de les mettre à exécution; et j'espère que le public trouvera ce but suffisamment atteint par la livraison que nous avons faite du pont construit en fil de fer sur le Rhône, entre Tain et Tournon, terminé à la fin d'août de cette année.

La circonstance dans laquelle nous étions placés nous imposait l'obligation de mener nos travaux avec la plus grande promptitude; car tous ceux, en France, qui s'occupent de constructions publiques, avaient les yeux tournés sur nous, pour s'assurer du degré de confiance qu'ils pouvaient accorder à des particuliers étrangers jusque alors aux constructions publiques, et par les mains desquels un essai si nouveau devait être tenté : nous prîmes donc nos mesures pour livrer promptement au public un ouvrage devenu tout entier notre propriété; et nous annonçâmes qu'il serait terminé en dix-huit mois, c'est-à-dire dans le courant du mois d'août 1825, la concession royale nous ayant été accordée le 22 janvier 1824.

3

C'est à ceux qui sont habitués à faire des choses nouvelles qu'il appartient de juger les difficultés que nous avions à surmonter pour remplir cette espèce d'engagement vis-à-vis du public, qui, impatient de jouir d'une communication si inespérée, voulait absolument que l'époque lui en fût formellement désignée : mais les connaissances pratiques que nous avions acquises en faisant exécuter depuis plus de dix ans, sous nos yeux, des machines, la plupart du temps de notre invention, nous donna assez de confiance dans nos forces pour assigner un terme que tant de circonstances semblèrent ensuite devoir nous faire dépasser.

La première démarche fut de visiter toutes les manufactures de fil de fer de la Bourgogne, pour leur communiquer les diverses observations que nous avions faites sur les propriétés de ce métal ainsi travaillé. Mon frère Camille, chargé de ce voyage, eut des conférences avec tous les principaux fabricans, examina de près les différens modes de fabrication, qu'il compara avec les résultats des expériences que nous avions déjà faites, et leur proposa divers changemens qu'il prévoyait devoir influer sur la ténacité des fers. Mais la difficulté de changer les habitudes prises, le temps qu'il eût fallu pour exécuter ces changemens, et sans doute l'incertitude d'un succès qui n'était pas regardé, par le fabricant, comme certain, et eût pu l'entraîner à des dépenses qu'il aurait craint ne pas être compensées par une plus grande consommation, l'obligea à se contenter des fils de fer que le commerce pouvait lui offrir, et de les demander par quantités plus ou moins considérables dans les diverses tréfileries qu'il avait visitées.

Des essais multipliés à l'infini furent nécessaires pour

connaître exactement la force de tous ces fils. Mon frère Pa se chargea de cet important travail, ainsi que de la confe tion des câbles et de tous les fers employés au système. Il construire dans notre fabrique, à Annonay, une corderi avec tous les outils nécessaires à ce nouveau genre de trava ainsi qu'une machine d'essai qui fût propre à pousser l épreuves jusqu'à 50,000 kil., où tous les câbles, ainsi q les diverses parties du système de la suspension, ont é éprouvés.

A mesure qu'il nous arrivait des tonnes de fil de fer, tirait de toutes les parties de l'envoi des masses ou paqu de 5 kil., que l'on soumettait à l'essai jusqu'à ce que l'on f exactement fixé sur sa force absolue. Le câble était ensu fabriqué en tenant compte de son poids, de sa quantité c brins, du poids que le calcul indiquait qu'il aurait pu so tenir, et de celui qu'il avait soutenu à l'épreuve : le nomb moyen des brins de chaque câble est de cent douze, et la for moyenne de 56 ou 57,000 kil.; ils ont été chargés à l'es de 23 à 25,000 kil. Leur pesanteur variait beaucoup, à cau de la grande différence de ténacité qui existait entre les verses fabriques; la grosseur du fil de fer était encore pl incertaine; en sorte que les essais seuls pouvaient fixer ex tement la force absolue des câbles.

Comme la flèche des câbles intérieurs était moindre 1 mètre que celle des extérieurs, on augmenta leur force p portionnellement à la différence d'effort, et l'on eut la mê attention pour les câbles supérieurs, que la théorie indiq également être un peu plus chargés que les inférieurs.

Les fers en barres ont été tirés des forges de Saint-Chamon Ce fer, connu sous le nom du n° 3, a été corroyé deux foi

nous donna la hardiesse, le 15 décembre, après avoir r
connu le terrain, de faire, avant les crues présumées d
printemps, une nouvelle tentative qui réussit complétemen
Nous fûmes favorisés par un hiver doux; et le 12 févri
nous posâmes la dernière pierre du socle de la pile, qui no
éleva au-dessus du niveau de l'eau, qui jusque-là avait to
jours couvert nos travaux; le reste ne souffrit dès-lors aucu
difficulté. L'excellence des chaux du Teil et de Miremand
employées à nos bétons, et les soins particuliers que no
avions mis à leur fabrication, nous permirent d'élever im
médiatement la bâtisse, sans qu'il se manifestât aucun a
faissement ni lézardes : elle était toute terminée le 12 juill
Je commençai alors à faire placer le système de suspe
sion et les planchers : ce travail dura jusqu'au 22 aoû
jour où furent faites les épreuves ordonnées par l'Admini
tration des Ponts et Chaussées; et le 25 le pont fut livré a
public, sans qu'il fût arrivé, pendant tout le temps de cet
construction, d'accident grave, et qui eût coûté la vie à auc
des ouvriers. La planche I en donne le plan et les détails.

Il est composé de deux travées égales, chacune de 85 m
tres d'ouverture, et de deux culées et une pile.

Les culées, dans le milieu, sont percées pour le passage d
portes de 4 mètres de largeur et 6 mètres de hauteur; elles on
au niveau de l'étiage du Rhône, 7 mètres de long sur 9 mè
tres d'épaisseur : les deux faces latérales, et celle de de
rière, sont montées d'aplomb; mais celle de devant est él
vée sur un talus de $0^{m},13$, qui se prolonge jusqu'à la co
niche, où l'épaisseur est réduite à 5 mètres.

La pile est percée d'une porte de $6^{m},20$, pour permettr
le croisement des voitures, et fondée sur un béton conten

dans un encrèchement formé de pilots et de pales-planches, garanti par un fort enrochement : sa longueur est de $11^m,20$, et sa largeur de 5 mètres, terminée, en amont et en aval, par des avant-becs et des arrière-becs demi-circulaires, qui s'élèvent jusqu'à $7^m,80$ au-dessus de l'étiage, hauteur à laquelle est établi le plancher du pont.

Il est supporté par des poutrelles en chêne, de $0^m,30$ sur $0^m,16$ d'équarrissage, et de 5 mètres de long, espacées, de 1 mètre, de milieu en milieu : sa hauteur, près des culées, est de $5^m,68$; en sorte qu'il y a une pente, de la pile aux culées, de $2^m,32$; mais chacune des travées ayant une légère courbure de $0^m,50$ environ, donne au plancher entier l'apparence d'une section d'arc de cercle qui aurait 3,500 mètres de diamètre.

Le plancher du pont, entre les parapets, a $4^m,20$ de largeur ; mais, de chaque côté de la pile, et sur une longueur de 18 mètres, il va en s'élargissant, de manière à atteindre dans le milieu $6^m,20$, largeur de la porte de la pile sous laquelle se croisent les voitures. Sa largeur est divisée en trois parties : celle du milieu, de 2 mètres de large, est formée par des plateaux de $0^m,08$ d'épaisseur, cloués directement sur les traverses, et doublés d'un platelage en peuplier, de $0_m,06$, cloué en travers.

Les trottoirs ont $1^m,10$ de large ; ils sont supportés par deux rangs de longuerines en sapin, de $0^m,15$ sur $0,2^m8$, et formés par des plateaux de chêne de $0^m,06$ d'épaisseur ; en sorte qu'ils sont élevés de $0^m,20$ au-dessus du platelage des voitures ; disposition qui met les piétons à l'abri des accidens et de la malpropreté.

Le parapet est établi sur le cours de longuerines extérieu-

res : il est élevé de $1^{m},20$ au-dessus du trottoir, et formé p un cours de lisses en chêne, de $0^{m},12$, sur $0^{m},25$, asser blées entre elles à traits de Jupiter. Ces lisses sont ma tenues à 1 mètre de distance des longuerines, par le moy de croix de saint André, de $0^{m},10$ carrés, entre les joints de quelles est un boulon de $0^{m},02$ de diamètre, qui embras la poutrelle, la longuerine et la lisse, et qui, étant serré fo tement, procure à tout cet assemblage une grande rigidité.

Le système de suspension est composé de douze câble ou faisceaux, chacun de 112 brins de fil de fer du nº 18, 3 millimètres de diamètre, dont six de chaque côté du pon

Ces câbles sont formés de trois parties de 30 mètres, moyen de cinquante-six révolutions de fil de fer autour deux coussinets en fonte, qui les reçoivent dans des gorg pratiquées à l'extérieur. Ils passent sur les piles et les cu lées, au-dessus des pieds droits, et occupent un espace d $1^{m},20$, dans un plan horizontal; en sorte que sur les culée les câbles intérieurs sont éloignés entre eux de $5^{m},30$, et le câbles extérieurs, de $6^{m},50$, ce qui laisse une inclinaison au cordes verticales, qui, fixées à l'extrémité des poutrelles soutiennent le plancher, et donnent à l'ensemble du systèm l'apparence d'un berceau lorsque l'on est sur le plancher d pont.

On conçoit que cet effet tend à ramener dans un plan ver tical la partie des câbles qui correspond au milieu de la tra vée; et c'est ce qui arrive en effet : mais pour éviter l confusion qui en résulterait, on a donné aux câbles des lon gueurs inégales, et telles qu'ils occupent dans cette partie un espace vertical de 90 centimètres, ce qui leur donne, vu de loin, l'apparence de vastes guirlandes formant draperie

soutenues, par chacun de leurs bouts, par la pile et les culées.

Les câbles de retenues qui montent perpendiculairement contre les faces extérieures des culées et le long des deux côtés de la pile, sont de la même force que les autres : elles sont arrêtées, du côté de Tournon, par l'intermédiaire de barres de fer pliées en double, de $0^m,03$, sur $0^m,05$, et arrêtées dans l'œil par un goujon mobile dont la tête est retenue en arrière par une ganse en fer, scellée dans le rocher; et la partie antérieure, par des blocs granitiques placés exprès dans la maçonnerie de la culée.

Au haut de la culée le câble est arrêté à une forte vis, qui traverse une masse de fonte de $0^m,50$ de haut, $0^m,50$ de large, $1^m,20$ de long, qui a la faculté de pivoter sur son axe. Cette masse, de fonte ou cadre de tension, parce qu'il est destiné à la régulariser, est divisée en douze compartimens qui reçoivent alternativement un des câbles d'amarre, et un de ceux qui soutiennent le pont.

La disposition de Tain est absolument semblable, à l'exception cependant que, vu le manque de rocher, on a été obligé de former une espèce de galerie de $1^m,50$ de haut, recouverte par un massif de pierres très grosses, de 3 mètres d'épaisseur, entre lesquelles on a pratiqué des cheminées par où passent les barres, qui sont arrêtées à la partie supérieure de la galerie par des goujons en fonte de fer.

Sur le haut de la pile, les câbles passent sur une maçonnerie demi-circulaire, de toute la largeur de la pile revêtue en pierres de taille, et recouverte en tôle; ils se prolongent jusqu'à 5 mètres du socle, où ils sont arrêtés à des goujons en fer engagés dans la maçonnerie, dont la tête est retenue par

des barres de $0^{m},03$ sur $0^{m},05$, qui elles-mêmes, au moy
de goujons en fonte, sont arrêtées au socle de la pile.

La force de tous les fers a été calculée avec la plus scru]
leuse attention, pour qu'aucune partie ne se trouvât tr
faible, ni qu'il y eût en aucun endroit de la force excédan
Le poids du plancher est de 70,000 kil., et il fait un eff
sur les culées de 100,000 kil., environ.

La résistance de la pile est de 200,000 kil.; celle des câbl
ou le poids qu'il faudrait mettre sur le pont pour le fa
briser, de 450,000 kil.; les cordes verticales pourraient so
tenir un poids de 3,600,000, kil.; et enfin les culées pourraie
résister à un effort de 600,000 kil.

La force des bois a été calculée de manière à présenter s
chaque point une résistance de 30 à 40,000 kil.: c'est à p
près celle des autres édifices de ce genre, construits ou pr
jetés jusqu'à ce jour. On peut s'assurer par là que ce mon
ment présente une solidité aussi complète que la majeu
partie des édifices dans la solidité desquels nous avons
plus entière confiance.

DES

PONTS EN FIL DE FER.

CHAPITRE PREMIER.

ORIGINE ET PROPAGATION DES PONTS SUSPENDUS.

Il serait sans doute difficile de désigner l'époque à laquelle on commencé à construire des ponts suspendus, parce que cet art dû s'introduire avec l'usage des cordes, dont il n'est qu'une application très-simple.

Faustus Vérentius, dans un ouvrage écrit en latin en 162[illegible] décrit les ponts suspendus, à peu de chose près, tels qu'ils ont ét exécutés depuis, en entrant dans le détail des deux cas où le pa sage est établi directement sur les chaînes, ou celui auquel l plancher y est suspendu par des cordes verticales (1).

Les plus anciens dont l'histoire fasse mention sont ceux d liane (2), dont se servaient les Américains à l'arrivée des Européen dans les Indes occidentales, et ceux de la Chine et de l'Indostan où il en existe en très-grand nombre, et un entre autres, suivan le major Rennel, de 600 pieds (3).

Le premier dont il soit fait mention en Europe, sur ce principe

(1) Ce renseignement m'a été donné par M. Molard, membre de l'Institut, qui en me communiquant l'ouvrage de Faustus Vérentius, a bien voulu me faire part de plusieurs observations utiles qu'il a faites au sujet de la force des fils de fer et d'acier

(2) *Bibliothèque universelle*, octobre 1822, fol. 123.

(3) *Idem*, novembre 1822, fol. 194.

est celui dont parle Hutchinson (1); il consiste en deux chaînes de fer sur lesquelles on a établi un petit plancher de deux pieds de large pour le passage des piétons : on croit que sa construction remonte aux environs de 1741. Ce pont, de 70 pieds de long, muni, d'un côté seulement, d'une main courante, éprouve un balancement considérable qui effraie ceux qui n'ont pas l'habitude de le fréquenter, vu que, suspendu à plus de 60 pieds au-dessus d'un torrent qui se précipite en cascades, l'œil contemple avec effroi l'abîme ouvert au-dessous de lui.

L'Amérique anglaise, qui depuis quelques années a fait dans les arts des progrès si rapides, nous a donné la première l'exemple de ponts suspendus d'une grande dimension, et servant à tous les usages. M. Pope (2), dans son *Traité des Ponts*, publié en 1811, en cite huit de ce genre établis dans l'espace de trois ans, parmi lesquels on remarque la description de celui qui sert à traverser la rivière Merimas, dans l'état de Massachusset, de 244 pieds, et pouvant supporter un poids de 500,000 kil. Sa largeur, de 30 pieds, est divisée en trois parties par les quatre rangs de chaînes qui le supportent : les deux voies extrêmes sont destinées aux voitures, qui, par cette disposition, ne peuvent jamais se rencontrer; et celle du milieu offre aux piétons un passage commode et à l'abri de tout accident.

L'Angleterre, si éclairée sur les applications des sciences aux arts industriels, a été la première à faire rétrograder du nouveau Monde les lumières qu'elle y avait apportées; et cet art a reçu, entre les mains de M. Telford, un degré d'extension auquel il eût été difficile d'imaginer qu'il pût être porté (3).

En effet, nous ne nous arrêterons pas ici à citer le pont de

(1) *Bibliothèque universelle*, novembre 1822, fol. 194.

(2) *Idem*, fol. 195.

(3) *Annales de l'Industrie nationale et étrangère*, mars 1821, fol. 158.

l'Union sur la Tweed, de 360 pieds de long, construit en 182
dans l'espace de onze mois, mais bien la vaste entreprise qui a po
but de traverser un bras de mer, le détroit de Menai, qui sépa
l'île d'Anglesey du comté de Carnarvon. Les besoins de la navig
tion active qui a lieu sur ce point, exigent que le pont soit éle
de 100 pieds au-dessus du niveau de la mer, pour que les bâ
mens puissent passer dessous à pleines voiles; d'un autre côté, l
deux culées, ne pouvant être établies qu'à 560 pieds de distan
l'une de l'autre, nécessitent l'établissement d'une arche de cette
mension. Cet immense travail, qui doit être terminé au mome
où je parle, sera suivi d'une entreprise encore plus vaste, si l'
donne suite au projet d'établir sur la rivière Mersey, à Runcor
le pont de 1,000 pieds proposé par M. Telford (1).

C'est dans cet état de choses que nous avons cherché à introdui
en France ce nouvel art. M. Plagniol, ingénieur du département
l'Ardèche, m'ayant souvent entretenu des avantages qu'il y aur
à pouvoir procurer aux piétons un passage plus commode que c
lui des bacs, je me décidai, sur son invitation, à me livrer à u
suite de calculs et d'expériences dont les résultats furent si sat
faisans, que nous n'hésitâmes pas à demander au Gouverneme
l'autorisation d'établir un pont en fil de fer à l'usage des piéton
pour remplacer le bac sur le Rhône, entre Tain et Tournon.

Notre projet, très-bien accueilli des Ponts et Chaussées, nous f
renvoyé accompagné de plusieurs notes judicieuses, et d'une in
tation d'en présenter un nouveau qui pût servir à tous les usage
même au passage des plus lourdes voitures. Ce nouveau proje
que nous nous sommes aussitôt empressés de rédiger, a reçu
l'Administration l'accueil que l'on devait attendre d'un corps to
jours empressé à favoriser les entreprises utiles; et sur l'avis fav
rable de M. le Directeur général, nous avons obtenu du Gouvern

(1) *Annales de l'Industrie nationale et étrangère*, mars 1821, fol. 158.

ment l'autorisation de faire l'essai de notre système sur un point assez important pour que sa réussite pût être un garant certain qu'il pouvait être appliqué partout ailleurs avec la même sécurité.

Le grand nombre de ponts suspendus existant actuellement à notre connaissance, ne nous laisse plus aucun doute sur leur réussite : tout se réduit donc à examiner quels sont les cas où un intérêt bien entendu peut les faire préférer aux ponts de pierre ou de bois, usités depuis un temps immémorial.

Un des effets de la civilisation étant d'éclairer chacun sur ses véritables intérêts, les diverses branches d'industrie ont dû être successivement soumises à de nouveaux calculs, à mesure que les besoins et les moyens de les satisfaire augmentaient. Celui d'établir de faciles communications, se trouvant éminemment dans ce cas, a été l'objet de beaucoup de tentatives, au nombre desquelles se trouve le nouveau mode que nous proposons d'introduire. Ses principaux avantages sont : l'économie, la promptitude d'exécution, et le peu d'obstacles qu'il présente à la navigation.

Le simple particulier, borné à un certain nombre de besoins prévus d'avance, et qu'il sait ne pas être dans le cas de dépasser, peut, avec peu de dépense, exécuter des constructions qui, avant cette époque, n'auraient pu être l'objet que d'entreprises publiques. Combien arrive-t-il de fois, dans des terrains montagneux, coupés de ravins ou séparés par des rivières rapides, que le manque de communications prive des familles ou des villages entiers d'une partie des jouissances qu'ils pourraient se procurer, ou aggrave leurs travaux journaliers en les forçant à de longs et pénibles détours. Le petit pont construit pour essai dans ma propriété, avait 18 mètres de long sur $0^m,50$ large ; il était soutenu par six faisceaux en fil de fer du n° 8, de huit brins chaque, formant une flèche de $0^m,90$, dont quatre destinés à soutenir le plancher, et deux servant de main courante, et, en cas d'insuffisance des faisceaux inférieurs, à leur aider à soutenir les poids dont ils pouvaient être

chargés au moyen des fils verticaux qui formaient le grillage d parapet; les faisceaux inférieurs avaient été formés en enveloppar le fil sur deux poulies en bois de 0^{m},10 de diamètre enfilées dans de barres de fer de 0^{m},030, scellées dans le rocher, ce qui laissai 0^{m},10 d'intervalle entre les deux faisceaux des extrémités, et 0^{m},3 entre ceux du milieu. On établit ensuite sur ces quatre faisceaux, e à 0^{m},50 de distance les unes des autres, des traverses en bois d chêne de 0^{m},030 de large sur 0^{m},040 de haut, et l'on cloua dessu un plancher en sapin de 0^{m},015 d'épaisseur, qui a été démonté, tan par des convenances locales, que dans la crainte qu'il n'arrivât quel que accident aux nombreux et imprudens curieux qui le visitaien et le soumettaient journellement à de trop rudes épreuves.

Cet essai montre dans quelles étroites limites de dépenses on peu construire les ponts en fil de fer : mais il faut bien se garder d'e trop étendre l'application; et lorsqu'il est question d'un passag d'une petite étendue, d'un usage journalier, et qui, par l'emplo auquel il est destiné, demande de la stabilité, on doit employe de préférence les constructions en pierre, et réserver les ponts suspendus pour franchir des espaces où tout autre moyen serait impraticable; car on sait que dans les ponts de pierre la dépense croît dans une proportion bien plus rapide que la dimension des arches, tandis que, entre certaines limites, il n'en est pas ainsi pour les ponts suspendus.

Les Anglais ont parfaitement senti cette vérité; aussi voyons-nous que presque tous ceux qu'ils ont établis dépassent 30 mètres : celui de M. Richard Lees, fait en 1816 pour les besoins de sa manufacture, de 110 pieds, ne coûta que 160 livres sterling, malgré l'excessive cherté de la main-d'œuvre en Angleterre; et le pont de l'Union, dont nous avons parlé, a été fait dans l'espace de onze mois, pour la somme de 5,000 livres sterling (120,000 fr.), environ le quart au plus de ce qu'il aurait coûté par tout autre moyen.

La faculté la plus précieuse des ponts suspendus est la possibi-

lité d'en établir sans supports, de 100, 200, et jusqu'à 300 mètres : elle fait disparaître complétement une des plus grandes difficultés qui s'opposent à la construction des ponts en pierre ou en bois sur les fleuves dont la rapidité ou la profondeur est très considérable, celle d'asseoir solidement des piles au milieu de leur cours. On sait en outre les inconvéniens qui résultent de leur trop grand rapprochement, qui, embarrassant le lit du fleuve, gêne la navigation, resserre l'espace destiné au passage de l'eau, et favorise les affouillemens, qui tôt ou tard entraînent la destruction totale de l'édifice. Les jetées que l'on emploie pour y remédier remplissent bien momentanément leur but; mais elles élèvent à la longue le lit du fleuve, qui, ne trouvant pas dans les crues l'écoulement qui lui est nécessaire, rompt les digues ou autres travaux destinés à le contenir, et se jette dans les terres, en abandonnant son premier lit, surtout s'il n'est pas naturellement bien encaissé.

CHAPITRE II.

CONDITIONS GÉNÉRALES DES PONTS SUSPENDUS.

Il se présente, dans la construction des ponts suspendus, plusieurs questions de mécanique, dont nous allons nous occuper successivement : mais comme dans le nombre il s'en trouve quelques-unes qui demandent des connaissances mathématiques, j'aurai soin de mettre en note tout ce qui pourrait embarrasser les lecteurs qui n'ont pas l'habitude de s'en occuper; j'en ferai de même de quelques expériences sur les fers, que je rapporterai en détail, et que chacun sera maître de consulter, suivant ses besoins ou l'intérêt qu'il pourra y mettre.

Le premier élément à déterminer est celui du poids que l'on peut suspendre à un fil de fer d'une grosseur connue, sans le briser,

On conçoit facilement que, quelle que soit la longueur de ce fil, poids sera toujours le même; car s'il avait quelque endroit p faible, il ne manquerait pas de rompre dans cette partie : en supposant donc égal partout, la probabilité sera la même pour t les points.

On fait toujours, dans ces expériences, abstraction du poids fil de fer; mais, s'il était question de grandes longueurs, il faudı en tenir compte; et c'est seulement sous ce point de vue que parties supérieures, chargées de toutes celles qui sont au-desso seraient fatiguées de plus de tout le poids de celles-ci.

Nous avons fait un grand nombre d'expériences dans la vue déterminer exactement la ténacité du fil de fer; mais, comme j qu'à présent le commerce n'avait pas mis d'intérêt à recherc cette propriété, il s'est rencontré souvent que les fils de fer plus tenaces étaient précisément ceux que l'on regardait comme moindre qualité. Parmi les causes qui influent sur cette proprié j'ai remarqué que les divers numéros (1) présentent une espèce loi où l'on observe des limites que l'on peut regarder comme cel de la ténacité du fil de fer, jusqu'à ce qu'un intérêt plus puiss engage les manufacturiers à porter leur attention sur cet obj qu'ils ont négligé jusqu'à présent. Beaucoup d'autres causes, d il serait sans doute difficile de se rendre raison, doivent enc influer sur cette propriété; mais les essais faits jusqu'à ce jo sont encore trop peu nombreux pour jeter aucun jour sur ce question : il est à présumer cependant que la manière dont on t vaille le fer, et surtout le degré de tirage qu'il a subi après le cuit, y influe plus que la qualité du fer.

Les fils les plus faibles que nous ayons essayés ont suppo 50 kil. par millimètre carré, et les plus forts 84 kil. Ces résult

(1) *Voyez* le tableau de la note 1.

se rapprochent beaucoup de ceux de Sikingen (1), qui avait trouvé qu'un fil de fer de 2 millimètres de diamètre supportait 242 kil., ce qui équivaut à 80 kil. par millimètre carré. Mais ils montrent en même temps, par leur grande incertitude, la nécessité de faire des essais préliminaires sur la force des fils que l'on a l'intention d'employer lorsqu'on se propose une entreprise un peu considérable, et combien il serait imprudent, si l'on ne juge pas utile de prendre cette précaution, de calculer sur une force au-dessus de la plus faible, c'est-à-dire, de 50 kil. environ par millimètre carré, que l'on peut regarder comme celle du plus mauvais fil de fer du commerce.

Ainsi fixés sur le poids que peut soutenir un fil de fer verticalement, il ne s'agit plus que de déterminer celui qu'il supporterait lorsque, étant assujéti par les deux bouts à des points fixes, il forme une courbe naturelle dont la flèche, ou mesure de la courbure, est plus ou moins grande, eu égard à la longueur de la travée. Le calcul et l'expérience indiquent ici que, toutes choses égales d'ailleurs, le poids que peut supporter un pont est d'autant moindre que la flèche est plus petite, et que la force des fils est la même dans les deux cas, lorsqu'elle est d'environ un septième de la longueur du pont; en sorte que, si l'on faisait un pont de 14 mètres de long, composé de cent fils du n° 18, auquel on donnât 2 mètres de flèche, on pourrait le charger de 50,000 kil., qui représentent le poids que pourrait soutenir à l'une de ses extrémités un faisceau de cent fils du n° 18 de la plus médiocre qualité, lorsque l'autre bout serait fixé d'une manière invariable.

Il semble au premier aperçu, d'après ce que nous venons de dire, que si la flèche, au lieu de 2 mètres, n'était que de 1 mètre, le pont ne pourrait supporter que la moitié du poids indiqué ci-dessus,

(1) Sikingen, Thénard, 1813, 1 vol., fol. 217.

ou 25,000 kil.; mais les choses ne se passent pas tout-à
ainsi, et le rapport qu'il convient, dans ce cas, d'adopter est
de 8 à 1, parce qu'il se rapproche alors beaucoup plus que l'a
de la vérité, et qu'il devient d'autant plus exact que le pont a m
de courbure et ne peut entraîner qu'à des erreurs légères que
peut négliger sans inconvénient.

Calculons donc, suivant cette règle, la seconde supposition
nous avons faite d'un pont de 14 mètres de long sur 1 mètre de flè
nous aurons à multiplier la flèche 1 mètre par 8, et la comp
à 14, ce qui nous donnera $\frac{8}{14}$ ou $\frac{4}{7}$: le pont, dans cette supposit
ne portera donc plus que les quatre septièmes de 50,000 kilogı
28,000 kilogr., environ.

On s'assurera, en suivant la même rgèle, que, si le pont au
d'un mètre de flèche n'avait qu'un décimètre, le poids support
serait plus qu'un dixième, ou 2,800 kil.; et que moins on
nera de courbure et moins, les autres élémens restant les mêr
le pont aura de solidité; en sorte que, si l'on voulait employer
fils très-tendus, il arriverait que le plus léger poids les fe
rompre.

Nous avons, dans tout ce qui précède, supposé les fils cha
également dans toute leur étendue; ce cas est celui qui se prés
toujours dans les grands ponts, où la masse des fers et des cl
pentes est assez considérable pour que l'excès du fardeau, qui p
se trouver isolément sur chaque point, puisse être négligée, co
parée à la charge totale; mais dans les ponts légers et de pe
dimension cette cause modifie la règle que nous avons donnée
l'effort, sur les fils et les culées, devient alors plus considéra
que le calcul ne l'indique : aussi ne trouverait-on pas dans la p
tique les résultats indiqués par la règle que nous venons d'énon
si on voulait l'employer à calculer l'effort exercé sur un fil ter
horizontalement, par un poids que l'on y suspendrait dans
milieu. Cet effort serait à peu près double de celui indiqué pa

calcul, en mesurant la flèche au moment où le fil serait en charge.

J'ai cru qu'il était à propos de m'étendre un peu sur ces considérations pour détruire une idée fausse qui s'était accréditée auprès de beaucoup de personnes, au sujet de la tension à donner aux chaînes employées à soutenir des ponts, qu'ils croyaient devoir être portée aussi loin que l'on pouvait, me demandant quelles seraient les machines assez puissantes que j'aurais pour les tendre au point où elles le supposaient; préjugé qui pourrait avoir les suites les plus funestes, parce qu'il ne manquerait pas d'être suivi des plus prompts accidens.

Le rapport qui doit exister entre la longueur et la flèche d'un pont n'est précisément assujéti à aucune règle, et les constructions faites jusqu'à ce jour présentent de grandes variations, qui, sans doute, tiennent à la manière dont les ingénieurs qui en sont les auteurs ont envisagé la question, ainsi qu'à des considérations locales et particulières. Les Américains ont donné assez généralement à la flèche un septième de la longueur du pont. Cette disposition, qui est très-favorable à la solidité, présente l'inconvénient du balancement, qui est toujours d'autant moindre que la flèche est plus petite; mais ils y ont paré en donnant aux planchers une grande masse, et se servant de parapets pour en augmenter la rigidité. Les Anglais, au contraire, se sont contentés d'un vingtième dans la majeure partie de leurs constructions exécutées ou en projets; ce qui laisse, comme on voit, une grande latitude aux constructeurs suivant les localités dans lesquelles ils se trouvent; on voit en effet que, lorsqu'il se présente des culées naturelles, ou que par la facilité de se procurer les matériaux, et le bas prix de la main d'œuvre, on peut les élever à peu de frais, il y a de l'avantage à augmenter la flèche à cause de l'économie du fer, surtout si, comme en France, cette matière première est à un prix élevé; tandis que l'Angleterre, placée dans des circonstances entièrement opposées, peut trouver de l'avantage à employer des dispositions opposées.

Le rapport dont je me suis servi jusqu'à présent dans di
projets soumis à l'Administration a varié entre un dixième e
douzième; c'est celui que je crois le plus propre pour les cas
naires, mais dont on peut s'écarter suivant les besoins particul

Tous les ponts suspendus portant voiture, en Amérique e
Angleterre, sont faits en chaînes de fer; ce mode de constructi
été décrit très au long dans le bel ouvrage dont M. Navier v
d'enrichir l'art et la science, et qui joint au mérite de la plus ex
observation celui d'avoir traité en mathématicien profond
nombreuses questions de théorie qui en sont inséparables. Je n
trerai donc pas dans le détail des observations que j'ai faites su
système en Angleterre, et me contenterai de parler de ceux e
de fer qui, sous plusieurs rapports, me paraissent devoir obt
la préférence, surtout lorsqu'il est question d'entreprises part
lières ou de travaux publics exécutés par des compagnies char
de veiller elles-mêmes à l'entretien et à la conservation de ces
vrages, et sur des points où, à cause du peu d'importance du pass
et du faible rendement du péage, il eût fallu y renoncer par t
autre moyen : ce cas, qui me paraît le plus fréquent et le p
propre à recevoir de nombreuses applications, m'a décidé à tour
toutes mes vues sur l'application du fil de fer à la construction
ponts; l'emploi en est facile et sûr, et peut aisément s'exécuter p
tout sans avoir besoin de soumettre les câbles aux machines d'ess
opération qui devient indispensable pour les chaînes en barr
dont un seul défaut de fabrication, ou soudure imparfaite dans
des anneaux, compromet la chaîne entière; tandis que le fil de fe
dont la ténacité est plus que double, a déjà subi au tirage u
épreuve de laquelle on peut se contenter, vu que les faisceaux éta
liés de distance en distance de manière à empêcher les brins
glisser les uns sur les autres, la rupture de l'un d'eux n'affaiblir
le câble que du poids qu'il soutenait.

On pourra objecter, à l'emploi du fil de fer, que la durée en se

moindre que celle des chaînes, ce qui serait probablement vrai si on laissait les unes et les autres exposées à l'air, sans entretien; mais il n'est pas douteux que, s'il existe un intérêt particulier qui veille à leur conservation, en les enduisant, tous les 5 à 6 ans, avec une couche de vernis, on pourra en regarder la durée comme indéfinie et tout aussi assurée que celle des autres monumens élevés par l'industrie humaine.

On voit, d'après ce qui précède, que la principale difficulté des ponts suspendus réside dans la connaissance des propriétés de la courbe qu'affectent les chaînes ou les câbles en fer auxquels on suspend les ponts. Cette courbe est différente suivant la disposition du plancher ou plate-forme qui sert de passage; elle se nomme chaînette lorsqu'il est établi directement sur les câbles, et parabole lorsque le plancher, en ligne droite, y est suspendu par des cordes verticales; les propriétés de ces deux courbes qui ont rapport aux ponts suspendus, sont très rapprochées les unes des autres; on peut donc se servir de celles de cette dernière qui sont beaucoup plus simples, et dont la connaissance, jointe à celle des plus simples règles du calcul, servira à déterminer d'une manière suffisamment approchée les conditions relatives à tous les cas qui pourront se présenter : comme le nombre en est très grand je me dispenserai de les suivre tous, et me contenterai d'indiquer quelques-uns des principaux, laissant au goût de chacun les variétés de forme et les autres modifications qui pourront être la suite de ses besoins, de la disposition de son local, ou des matériaux qu'il aurait à sa disposition.

Lorsque la rivière est encaissée par des rochers un peu élevés, et que l'espace que l'on a à franchir est peu considérable, de 20 à 30 mètres, par exemple, le moyen le plus simple est d'établir le passage directement sur les câbles; car la dépense des culées devenant nulle par le fait, on peut, en augmentant le nombre des fils, diminuer la flèche de la courbe dans la même proportion, et par ce moyen

adoucir assez la pente pour la rendre d'un usage facile et cc mode. Ces sortes de ponts ont toujours assez de balancement et peuvent guère servir qu'aux piétons ou aux animaux qui ont l'ı bitude d'y passer journellement; mais ces inconvéniens sont chetés par l'économie, la facilité et la promptitude avec lesqu on peut les construire.

Le mode le plus généralement usité est celui où le plancher horizontal, et soutenu aux câbles en fer par des cordes vertical la communication a lieu alors par l'intérieur des culées, au hı desquelles sont fixés les câbles. Mais comme le passage de la cul ordinairement plus étroit que le reste du pont, gêne toujours, plus au moins, la circulation, ou s'écarte souvent de cette disp sition surtout lorsque la route, resserrée entre des gorges, fait ı coude à la tête du pont, on établit alors le passage sous les chaîn en avant de la culée : on trouve des exemples de cette dispositi dans le pont de l'Union, déjà cité, et à l'embarcadaire de Brighto construit par le capitaine S[t] Brown, en 1823; les quatre supports ce dernier édifice sont en fonte de fer, soutenus par des pilots e foncés dans le lit de la mer; le bas prix de la fonte permet aı anglais de l'appliquer à ces usages, et elle le sera sans doute égal ment en France lorsque l'industrie perfectionnée de nos fonderi pourra la livrer au même taux qu'en Angleterre.

Au lieu de piles et de culées percées de portes, on élève que quefois des colonnes rondes ou carrées, surmontées d'une traver qui les lie pour qu'elles fassent corps ensemble; cette dispositic a été adoptée par M. Navier pour le pont que l'on construit à Pari en face des Invalides.

L'on peut enfin supprimer entièrement les culées et se réduire des massifs d'amarres dont la hauteur n'excède pas celle du plaı cher du pont; on donne alors aux piles une élévation à peu pr double, ou telle que, si la courbe était continuée de manière à de venir symétrique des deux côtés, elle représentât un arc de chaî

nettes dont la flèche serait la hauteur de la pile, et la longueur le double de la travée, et qui servirait de base pour établir les conditions de solidité, comme nous l'avons indiqué plus haut. M. Brunel, membre de la Société royale de Londres, mais Français d'origine et fixé en Angleterre, a fait exécuter le premier, pour le gouvernement de France, des ponts en fer ainsi disposés. Cet habile ingénieur pense que cette disposition est surtout utile pour empêcher les ponts d'entrer en vibration, et s'opposer à la cumulation du mouvement qui en est la suite, un des plus graves inconvéniens qu'il eût à craindre étant destinés pour l'île Bourbon, sujette à de violents ouragans. Non content de cette précaution, M. Brunel a ajouté encore des arcs renversés, en chaînes de fer, opposés à ceux qui le soutiennent. Ces arcs sont liés avec le plancher de la même manière que les chaînes supérieures, ce qui le rend susceptible de résister à une force qui s'exercerait de bas en haut, tendant à le soulever.

Ces précautions sont surtout utiles lorsque les ponts n'ont pas une grande masse; mais on peut se dispenser, lorsque ces édifices ne sont pas trop exposés à cette cause destructive, d'un double système, et les arrêter par des amarres AB, CD (fig. 8), en contre-bas ou sur le côté. Cette disposition a été adoptée à Genève pour les ponts suspendus en fil de fer, établis sur les fossés de cette ville, les premiers qui aient encore été faits sur les principes que je propose, et y a produit un excellent effet; une tension considérable des fils, ou, ce qui est la même chose, une flèche très légère qu'on donne à la courbe, peuvent remplacer la masse jusqu'à certain point, parce que, comme nous l'avons vu, les poids, quelque légers qu'ils soient, font alors le même effet que s'ils étaient proportionnellement plus considérables.

Toutes les causes qui peuvent tendre à donner un mouvement de balancement sont celles dont on doit le plus craindre l'effet : un vent violent, un régiment d'infanterie allant au pas, sont les plus

terribles épreuves qu'aient eues à subir en Angleterre et en Fr les premiers ponts suspendus; il est même arrivé que le vent détruit de fond en comble pour avoir négligé ces précaution employé dans leur construction des dispositions vicieuses. Ce convénient, au reste, a lieu, comme on sait, dans tous les ca les points d'appui sont à une grande distance l'un de l'autre : le monde sait qu'en se balançant sur une longue poutre qui soutenue que par ses deux bouts, on finit, quelle qu'en soit la seur, par lui procurer un mouvement considérable, quoiqu'ell destinée à porter des fardeaux infiniment plus lourds.

Je n'insiste pas davantage sur ces considérations, et vais e dans les détails successifs des principales parties qui doivent titucr un pont suspendu; et terminerai par un exemple qui vira pour tous les autres cas, parce qu'il n'y aura que des non à changer, en même temps qu'il évitera aux lecteurs, qui craig les trop longues explications, de me suivre dans des détails ils trouveront toute l'application dans quelques pages.

CHAPITRE III.

DES CULÉES.

L'EFFET de traction produit par les ponts suspendus sur le lées, qui tend à les entraîner dans le fleuve, nous fournit un m aussi simple que facile de calculer la force qu'il convient d donner; en effet, on conçoit que si elles doivent résister pa poids, comme le ferait un massif de maçonnerie, de terras autre construction de ce genre, il n'est question que de l'év exactement, et de le rendre tel qu'il puisse faire équilibre à l' du pont chargé de tout le fardeau qu'il peut supporter sa briser.

Si le local est disposé de manière qu'on puisse s'amarrer

ou plusieurs barres de fer ou pièces de bois, qu'une disposition particulière permettrait d'arrêter avec toute solidité, le calcul de la traction à laquelle elles peuvent résister, suivant la manière dont elle agit, donnera également le moyen de déterminer leur dimension.

Supposons donc que tous les fils de fer dont se compose le pont puissent soutenir verticalement un effort de 30,000 kilogr., il est évident que les culées elles-mêmes doivent pouvoir résister à un effort pareil, pour que ces deux parties se trouvent en harmonie de solidité, mais comme ce résultat peut s'obtenir de plusieurs manières, je choisirai, parmi le grand nombre de cas qui peuvent se présenter, trois des principaux, dont le calcul servira de guide pour tous les autres, savoir :

Amarres en fer scellées dans le roc vif,

Culées en maçonnerie,

Palées en bois.

I. *Des amarres en fer.*

Tous les fers n'ont pas la même ténacicé; plusieurs causes, dont il est difficile de se rendre compte, influent puissamment sur cette propriété : le meilleur moyen que je connaisse pour l'augmenter consiste à prendre des barres d'une dimension plus considérable que celles dont on a besoin, et les faire étirer sans trop chauffer, jusqu'à ce qu'on les ait amenées à la grosseur dont on a besoin. Il ne faudrait pas trop s'appuyer sur la ductilité du fer pour en conclure qu'il fût plus tenace ; car l'expérience prouve que ces deux propriétés sont loin de marcher ensemble, et que le fer aigre supporte, à peu de chose près, le même poids que le fer doux. On peut cependant, pour les besoins ordinaires, calculer sur environ 30 kil. par millimètre carré (1), ou 24 kil. par millimètre

(1) *Voyez* la note n° 1.

circulaire, tel qu'il sort des forges pour être livré au commer est bon, au reste, d'en faire l'essai, si l'entreprise qu'on se pose en exige un emploi considérable, au moyen d'un appare qu'on le voit (fig. 26), au moyen duquel on charge la barre jus ce qu'elle casse.

Lorsque l'on peut sceller les barres de manière que leur dire fasse suite à celle des câbles, on peut se contenter de leur do la même force., si par leur position elles ne sont pas sujettes à mouillées ni détériorées; mais si elles étaient exposées à l'air fouies dans la terre ou placées dans un endroit où elles fus sujettes à une usance rapide, il serait bien d'augmenter leur mensions eu égard aux avaries auxquelles elles seraient expo On s'assurera, dans tous les cas, que le fer est bien sain, q traction se fait exactement dans le sens de la longueur des ba on donnera à la partie scellée $0^m,30$ à $0^m,50$ de longueur, sui que le rocher sera plus ou moins sain et suivant sa dureté. refoulera et fera des crans à la partie inférieure, et après a chauffé la barre et l'avoir placée dans le trou, l'on coulera du pl tout autour, et non du soufre qui, à la longue, finit par altér détruire complètement le fer.

Si la barre doit porter à son bout un anneau A (fig. 14 sera bien de la former en la repliant tout du long et la sou seulement à la partie inférieure, et donner le plus grand soin que l'anneau ne soit que juste de la grandeur du crochet ou a anneau qu'il doit recevoir, pour éviter le porte à faux. Lorsqu devra être terminée par un crochet, il faudra le faire un peu long que le besoin et relever au bout extérieur un boudin p donner la facilité de le fréter au moyen d'un lien à clavelle afi l'empêcher de s'ouvrir.

Il est des cas où l'on ne peut disposer les amarres de manière que l'effort se fasse dans le sens de la longueur des barres, e l'on est obligé de les charger en travers. La force de la barre

minue alors en raison de la longueur; on est donc obligé d'en augmenter aussi la dimension dans un certain rapport.

L'expérience a indiqué que si la longueur, ou bras de levier de la barre, n'est que la moitié de la hauteur ou dimension dans laquelle se fait l'effort, l'on peut calculer la force du fer sur 30 kil. par millimètre carré, la même que lorsqu'on le tire de long; mais si, la barre restant la même, sa longueur venait à augmenter, il faudrait renforcer les parties les plus près du point d'appui. Cette augmentation n'est proportionnelle aux longueurs des leviers que dans le cas où on la ferait sur la largeur de la barre, puisque l'on obtiendrait alors évidemment le même effet que si on en plaçait plusieurs les unes à côté des autres; mais lorsque la largeur restant la même, l'augmentation se fait sur l'épaisseur, elle ne doit être alors que comme les racines carrées, c'est-à-dire de la quantité qui, multipliée par elle-même, représente cette dimension. Éclaircissons ceci par un exemple, et supposons que la barre dont nous avons besoin doive résister à un effort de 7,500, ce nombre divisé par 30 kil. que peut soutenir un millimètre de fer, nous donne une section de 250 millimètres, représentée par une barre carrée de 16 millimètres. De côté elle pourra les soutenir, soit dans la direction CD (fig. 19) de la longueur de la barre, soit dans la direction CE qui lui est perpendiculaire, pourvu qu'elle soit soutenue en A de telle manière que AB soit égal à CB; mais si l'on vient à transporter l'appui de A en A′ par exemple, égal à quatre fois AB, il faudra que la barre ait à ce point une force double, à cause que deux est la racine carrée de quatre, rapport des longueurs A′B à CB. La force de la barre dans les points intermédiaires, se calculera en prenant les racines carrées des nombres 2, 3, 4, 5, 6, etc., et formera ainsi une ligne $x\,y\,z$, qui sera celle qui convient à tout corps destiné à faire un effort à son extrémité, lorsque la dimension seule de la hauteur varie. Si l'on voulait augmenter la barre dans le sens de sa largeur, il faudrait que cette

augmentation fût simplement proportionnelle aux longueurs des leviers; sa forme devient alors celle d'un triangle, puisque les largeurs AB A'B' (fig. 20) croissent proportionnellement aux distances AC A'C, etc.; mais on voit que l'on est obligé d'employer beaucoup plus de matière pour obtenir le même effet; ce qui explique pourquoi l'on a tant d'avantage à augmenter la hauteur des corps destinés à faire effort aux dépens de leur largeur, et donne en même temps le moyen de s'en rendre un compte exact.

Pour peu que le levier soit long, il faut diviser les amarres pour éviter de trop fatiguer le rocher. Il est assez difficile de donner là-dessus des règles précises, parce que la cohésion de la pierre varie beaucoup; dans quelques expériences que j'ai faites, j'ai vu de la pierre calcaire s'éclater sous le poids de 1,500 kil., tandis que du granit dans les mêmes circonstances en a soutenu 6,000, sans annoncer la moindre disposition à être endommagé. Chacun, au reste, dans sa localité, doit être à même de juger, soit à l'inspection, soit par l'expérience, l'effort que peut supporter une masse de rocher, ou une pierre, suivant les circonstances où elle se trouve placée.

Comme la quantité de fer dont on a besoin est bien plus considérable lorsqu'on agit au bout d'un levier un peu long, et qu'il convient d'ailleurs d'éviter dans ce cas l'emploi du fer trop doux qui serait sujet à plier, on peut le remplacer avec avantage par le fer fondu, dont on peut calculer la ténacité à raison de 10 kil. par millimètre carré, le tiers de celle du fer (note 1), ayant soin de disposer son levier de manière que l'épaisseur aille en diminuant jusqu'au bout.

J'ai cru qu'il était à propos d'insister sur cette règle, parce que j'aurai occasion d'y revenir plusieurs fois, et qu'elle s'applique dans une infinité de cas. On ne doit jamais employer le fer, le bois, la bâtisse, etc., sans préalablement s'être assuré de ce que peuvent supporter ces matériaux, suivant la manière dont ils résistent, et

Le cas où elle n'en fait point est celui où les câbles, après avoir passé sur son sommet, viennent s'amarrer dans le terrain, en faisant de chaque côté un angle égal avec l'axe de la pile : on peut donc, en lui donnant un talus antérieur, obtenir cette condition quelle que soit la disposition du local; mais comme la culée a toujours une masse plus ou moins considérable, il est bien de la faire servir à résister à une partie de l'effort du pont, ce qui économise d'autant sur la longueur des amarres des culées qui doivent venir s'attacher dans le terrain.

La résistance que doit opposer la culée ou pile, ainsi sollicitée de chaque côté, est égale à la différence des deux forces qui agissent en sens contraire. On peut l'évaluer d'une manière fort simple, en tirant une ligne qui partage l'angle que font les deux cordes en deux parties égales, et regardant la direction de la force comme passant par ce point; on suppose alors la masse de la pile concentrée en x au bout d'un levier xyz, dont le point d'appui est en y à la partie antérieure de la pile; et les deux bras, l'un, la distance xy du centre de gravité à ce point, et l'autre, la distance yz de la ligne dont nous venons de parler à ce même point.

Cela posé, on tirera du milieu du sommet de la pile des lignes AP, AQ, au point où doivent être attachées les barres ou chaînes d'amarres des culées; on mettra la pointe d'un compas en A, et l'on tracera un arc de cercle SN que l'on divisera en deux parties égales au point M; par le centre de cet arc et par le point M, on tirera une ligne droite Az, sur laquelle on abaissera du point y une perpendiculaire yz; cette ligne sera le bras de levier qui agira avec la traction des 12,500 kil. pour entraîner la culée.

Supposons que la culée AG, de 1 mètre d'épaisseur et ayant toutes ses autres dimensions égales à BH, doive résister à la même traction au moyen des amarres PQ; son poids sera les deux cinquièmes de BH ou de 12,000 kil., et comme elle est régulière, le centre de gravité x se trouvera $= 0^{m},50$ du point y, axe de rotation

ou point d'appui. En faisant cette construction on trouvera que $yz = 0^{m},48$; on multipliera donc 12,000 par 0,50, et on divisera par 0,48 ; ce qui donnera en effet, comme ci-dessus, 12,500 kil.

Les amarres PQ devront être fixées dans le rocher assez solidement pour résister à la même traction que les câbles en fer; au défaut de rocher on ferait un massif de moellons maçonnés dont le poids serait équivalent à l'effort que peuvent soutenir les câbles ; il faudrait alors tarauder l'extrémité des amarres et les faire traverser de fortes pièces en bois derrière lesquelles on mettrait des viroles très-larges et plusieurs écrous; ou mieux encore, comme ont fait les Anglais, des lentilles en fer fondu percées d'un trou dans le milieu, destiné à recevoir le bout de la barre qu'on aurait soin de bien arrêter par derrière avec des clavettes ou des boulons.

La règle que je viens de donner étant applicable à tous les cas, je n'entrerai dans aucun autre détail à ce sujet; je ferai seulement les deux observations suivantes : la première c'est que plus les points d'amarre seront raprochés de la culée, plus il faudra renforcer cette dernière, puisque la ligne AZ s'éloignera de plus en plus du centre de gravité, et qu'elle se confondra finalement avec les câbles en fer lorsque l'on amarre à la culée même; la seconde est que l'on doit placer la poulie ou rouleau sur lequel appuient les câbles en fer, au-dessus de la culée, le plus en arrière que l'on pourra, puisque la ligne AZ s'approchera de plus en plus du point x, ce qui diminuera yz et augmentera par conséquent la stabilité de la culée.

III. *Des palées en bois.*

Les palées en bois n'étant destinées qu'à servir de simples supports, doivent diviser l'angle que font les câbles ou les chaînes en deux parties égales. On obtient facilement cette condition en adoptant un assemblage CDE (fig. 14), en forme de chevalet assez ou-

vert pour que la ligne DF, qui divise l'angle ADB en deux parties égales, passe entre les deux bras du chevalet.

Ceci suppose cependant que les cordes ne sont pas arrêtées au haut de la palée, mais qu'elles appuient simplement sur un coussinet ou sur une poulie; s'il en était autrement, et que l'on fixât les câbles et les amarres à la pièce de bois, il faudrait que ces dernières fussent renforcées en raison de la distance à laquelle elles sont fixées de la base de la palée (note 2). La quantité dont il faudra les augmenter est proportionnelle au rapport de la perpendiculaire abaissée de cette base sur les chaînes d'amarres considérées comme le petit levier, et comparée à la hauteur de la pile considérée comme le grand. Cette disposition permet de donner aux palées, relativement aux câbles en fer, telle inclinaison qu'on juge à propos, et évite, par conséquent, de doubler les pièces de bois. On formera alors avec des solives de $0^m,25$ à $0^m, 30$ carrés, un cadre ABCD (fig. 13) de bois de chêne, un peu plus large que le pont, auquel on donnera le plus de grâce possible. On l'établira sur une sole BC, assez longue pour qu'on puisse y mettre de chaque côté des arcs-boutans E,F; la sole elle-même devra porter sur de la maçonnerie, ou sur le terrain, s'il est assez solide et assez sec pour qu'on ne craigne ni sa déflexion ni la pourriture des pièces.

Le bois de chêne, soutenant ainsi un poids par le bout (note 1), a une force en général bien au-dessus du besoin, pour qu'il me paraisse superflu d'entrer dans aucun calcul; l'on a plutôt à craindre la pourriture, et c'est pour cela qu'il sera bien d'entretenir les pièces toujours vernies à l'huile, et même de les garantir par un petit toit.

J'ai donné quelques exemples sur la manière d'établir les culées; mais on conçoit que, dans une infinité de cas, on peut se servir de ce qui se rencontre à sa portée; ainsi une terrasse, une maison, un vieux mur, un arbre, peuvent, suivant les besoins et les localités, en tenir lieu; le point important est de bien se rendre

compte de la résistance que peut offrir l'objet qu'on a en vue, et de la calculer exactement, sans se fixer à une première impression irréfléchie qui pourrait induire en erreur.

CHAPITRE IV.

DE LA SUSPENSION DU PONT.

La longueur, la largeur et la flèche du pont étant déterminées, nous donnent le moyen de calculer la tension qu'exerce la charge sur les câbles ou effort pour renverser les culées; on l'évalue ordinairement en supposant le pont couvert d'autant d'hommes qu'il en peut contenir, et employant chacun un espace de trois pieds carrés. Cependant, lorsque l'on opère pour les besoins d'une famille, d'un village, dans un endroit où le passage est peu fréquenté, on conçoit que l'on peut très-bien se tenir au-dessous de cette supposition, parce que la probabilité d'une charge pareille est si petite qu'elle peut être considérée comme nulle. L'on peut calculer le poids d'une personne à 65 kil. environ, ce qui donnera le moyen d'évaluer la charge probable, à laquelle on ajoutera le poids des plateaux destinés au passage, et celui des fils de fer, dont on estimera approximativement le nombre, jusqu'à ce que le calcul du poids total donne le moyen de le déterminer d'une manière plus exacte.

Ce poids ainsi connu, on s'assurera, suivant la courbure qu'on veut donner au pont, de l'effort de traction qu'il exercera sur les culées en employant la règle que nous avons donnée, de multiplier la flèche par 8, et d'augmenter la charge totale proportionnellement au rapport de cette quantité à la longueur du pont; elle représentera, comme nous l'avons vu, l'effort que doivent soutenir les culées, ainsi que le poids qui chargera les fils de fer que l'on aura soin d'augmenter suivant ce que la prudence indiquera, pour se trouver au delà de la probabilité de tout accident.

Les Anglais, dans leurs grandes constructions, ont donné à leurs chaînes une force triple de celle indiquée par le calcul, l'expérience leur ayant indiqué que le fer pouvait sans inconvénient être soumis à la traction du tiers du poids qui occasionerait sa rupture. Cette règle a été confirmée par les belles expériences de M. Duleau (1), d'où il résulte que le fer soumis à cette charge n'éprouve qu'un très-petit allongement et revient exactement à sa dimension primitive lorsqu'on le décharge; si l'on ajoute à cela l'autorité de M. Navier (2) qui, ayant fait de cette matière une étude approfondie, est parvenu aux mêmes résultats, il ne restera aucune incertitude sur la stabilité de monumens qui réunissent ainsi tout ce que la théorie et l'expérience peuvent indiquer de plus certain.

Les conditions de charge calculées ainsi, sont exprimées avec une telle exactitude, qu'il est bien difficile qu'elles soient jamais dépassées, et en supposant même que le cas arrivât, il n'en resulterait aucun inconvénient, pourvu qu'il ne fût pas trop souvent réitéré, car c'est plutôt la multiplicité des épreuves qu'une légère addition à la limite de charge que nous avons indiquée, qui pourrait entraîner la destruction de ces sortes d'édifices.

Je diviserai ce chapitre, comme j'ai fait le précédent, en trois parties, et je vais entrer successivement dans l'examen de chacune d'elles en particulier.

I. *Des câbles en fer.*

La force des fils de fer variant relativement à leur grosseur, suivant la manière dont ils ont été fabriqués (3), il serait difficile d'assigner quelle est la dimension qu'il est le plus convenable d'employer; dans les petites constructions, dont il est facile de vérifier

---

(1) *Essai sur la résistance des fers.* Paris, 1820, folio 54.

(2) *Mémoire sur les ponts suspendus.* Paris, 1823, folio 112.

(3) *Voyez* la note 1.

journellement les différentes parties, on peut se servir de fil beaucoup plus petit que dans les grands ponts, parce que le seul inconvénient à craindre, qui est la rouille du fer, est bien plus facile à prévenir; mais, lorsqu'il est question d'un édifice public, je crois qu'il est prudent de ne pas donner au fil moins de trois millimètres de diamètre, pour se mettre à l'abri de l'oxidation, au moins pendant un laps de temps considérable.

Il est essentiel, pour prévenir cette cause de destruction, d'employer des vernis qui adhèrent fortement au fer, et de les entretenir avec soin. Je regarde comme un très-bon moyen, pour obtenir cet effet, de les faire bouillir dans de l'huile de lin légèrement oxigénée par de la litarge et un peu de noir de fumée; les retirer, laisser sécher, et recommencer deux ou trois fois cette opération, qui a pour but de les dépouiller exactement de toutes les bulles d'air qui pourraient rester adhérentes à leur surface, pénétrer dans les plus petits interstices, et les disposer à recevoir le vernis dont on doit les enduire et avec lequel, par ce moyen, ils adhèreront plus fortement. On formera, avec ces fils ainsi préparés et complétement secs, des câbles de toute la longueur du pont, ou de grands chaînons de 20 à 30 mètres de long, dont la réunion produise exactement cette longueur; pour la déterminer on tendra un fil de fer auquel on donnera une position semblable à celle des câbles lorsqu'ils seront en fonction; car l'on conçoit que devant former une courbe, leur longueur nécessairement sera plus grande que l'espace qui sépare les deux culées. Ce fil de fer mesuré, on placera deux piquets à la distance trouvée nécessaire, que l'on arrêtera solidement de tous côtés pour les empêcher de faire le plus léger mouvement; sur la tête de chacun de ces piquets on enfoncera des chevilles de fer de $0^{m},040$ de diamètre, sur lesquelles on placera des espèces de coussinets BC (fig. 16) demi-circulaires en fonte de fer ou en fer forgé; ces coussinets présenteront une plus grande force dans le milieu, où ils doivent porter les uns sur les autres lorsqu'ils

seront assemblés, que sur les côtés, et seront creusés extérieurement d'une gorge dont le fond sera carré, pour que l'on puisse y arranger symétriquement, et sur quatre à cinq rangs, les brins qui doivent composer le câble.

On commencera alors à envelopper le fil sur les deux coussinets en le tendant assez également pour que les brins ne se dépassent les uns les autres que de $0^m,1$ à $0^m,2$ au plus, et passant après chaque rang une couche de goudron ou de vernis très-épais, et les recouvrant même d'une toile serrée qui en sera imprégnée, pour remplir ainsi tous les intervalles et faire porter les révolutions supérieures sur les inférieures, aussi également que possible. On continuera ainsi d'envelopper jusqu'à ce qu'on ait atteint le nombre de révolutions dont on a besoin; on joindra alors le premier au dernier bout en les tenant tendus parallèlement l'un à l'autre au moyen de tenailles en bois, et en les liant avec du fil de fer n° 1, recuit l'espace de $0^m,05$ à $0^m,06$, ou formant un nœud tel qu'on le voit (fig. 18). Si l'on emploie du fil de fer de numéros fins, on les liera après cela de distance en distance et à l'anneau avec du fil recuit, après quoi on enlèvera ce premier câble pour faire les autres à la même place et de la même manière.

Comme le câble ainsi fabriqué, quelque précaution que l'on prenne, formera toujours une courbe plus ou moins sensible, et que le fil de fer s'allongera lorsqu'il sera chargé par le poids du pont, il sera bien, lorsque l'on placera les piquets, de les tenir un peu plus près l'un de l'autre d'un ou deux centièmes environ de la distance mesurée.

Si une seule longueur de câble ne pouvait suffire et que l'on fût obligé d'en mettre plusieurs les uns à la suite des autres, on ferait faire des coussinets dont la gorge fût moitié moins large, on les doublerait en tôle mince, et l'on passerait alternativement le fil de fer de A en B, C, D, de D en C, B, A, etc. Lorsque ensuite on voudrait les réunir, on enlèvevait le doublage en tôle, lié préalablement

avec le câble, de dessus le coussinet; l'on passerait les anneaux A, D, d'un autre câble entre les branches AB, CD, et l'on réunirait les branches A, D dans un coussinet de la dimension BC; ainsi de suite jusqu'à ce qu'on eût obtenu la longueur désirée.

Cette disposition me paraît devoir présenter dans la pratique de grands avantages, parce qu'elle allie la résistance à la flexibilité, en évitant de mettre des parties en contact, qui puissent s'user par le frottement les uns sur les autres, inconvénient qui entraîne celui de faire écailler les vernis, et d'exposer ainsi les parties de câble aux deux causes les plus efficaces pour les détruire, le frottement et l'oxidation.

On voit en effet que les fils de fer, ainsi rassemblés en faisceaux, conserveront leur élasticité sans être cependant d'une longueur assez considérable pour que le mouvement, en exerçant une tension inégale sur eux, les fasse glisser les uns contre les autres. D'un autre côté, les coussinets auxquels on pourra donner une épaisseur un peu considérable, ne devant en rien contribuer à la solidité, pourront se détériorer sans inconvénient; et l'on sera libre, après un laps de temps considérable, de les remplacer si l'on s'apercevait que leur épaisseur devînt telle que l'on pût concevoir quelque inquiétude sur l'objet auquel ils sont destinés.

Les fils de fer formeront de cette manière des faisceaux, que l'on liera fortement de distance en distance avec du fil recuit, et sur lesquels on passera plusieurs couches de vernis qui s'emparera des moindres intervalles, et formera une espèce de cordage qui ressemble à une masse homogène plutôt qu'à une réunion de brins, comme l'expérience nous l'a appris dans le pont que nous avons construit, et qui, pendant deux ans, n'a éprouvé dans son vernis, ni dans le reste de sa construction, aucune avarie, malgré qu'on se soit fait souvent un jeu de pousser les oscillations au plus haut degré possible, en se balançant plusieurs personnes à la fois dessus.

Une autre utilité des coussinets est d'avoir des points fixes sur les

câbles en fer auxquels on puisse arrêter les fils verticaux qui soutiennent le plancher, surtout lorsqu'ils ont beaucoup de courbure; car on conçoit que, près des points d'appui où elle est la plus grande, les cordes verticales risqueraient de glisser, et de se déranger ainsi de leur position.

Dans les ponts de petites dimensions dont le passage est établi directement sur les câbles, et où l'on amarre à une barre de fer enfoncée dans le rocher, on peut remplacer ces anneaux en fer par des poulies en bois dur, percées d'un trou de la dimension de la barre. Ces poulies doivent avoir $0^{m},10$ de diamètre, être de bois bien compact, bien sain, et garnies en cuivre ou en fer intérieurement. On peut alors établir les fils de fer directement sur ces poulies de la manière dont nous l'avons dit.

Ce mode présente l'inconvénient, si l'on n'arrive pas précisément pour chacun des câbles au même degré de longueur, de faire pencher le pont du côté le plus bas; mais, comme ces sortes de ponts ont ordinairement peu de flèche, et que le moindre changement de longueur du câble en fait une très-grande sur la flèche, on peut changer le diamètre de la poulie jusqu'à ce qu'on arrive à avoir les deux câbles de niveau.

Les câbles achevés devront être mis en place dans l'endroit même où ils doivent rester, s'il est possible, ou bien dans une position absolument semblable; on tracera, dans tous les cas, sur le terrain au-dessous, une ligne qui représentera la place que doit occuper le pont, et ayant divisé le câble en autant de parties qu'il y aura de cordes, on y suspendra le même poids qu'il devra porter habituellement.

Les choses ainsi disposées, on tendra fortement une corde mince qui représentera le plancher du pont, et l'on mesurera la longueur des cordes verticales, que l'on notera soigneusement; on enlèvera les premiers liens que l'on avait mis provisoirement, et l'on passera une couche de vernis sur tout le câble.

Le vernis étant parfaitement sec, on liera fortement les faisceaux entre eux avec du fil recuit, de distance en distance, et avec les anneaux ; après quoi on déchargera le câble, et l'on recommencera sur les autres la même opération.

On conçoit que les câbles ainsi éprouvés et liés, chargés de tout le poids qu'ils sont destinés à soutenir habituellement, ne seront plus exposés à aucun dérangement, et que les brins dont ils sont composés doivent toujours conserver la même position respective, et le même degré de tension qu'ils ont reçu la première fois.

II. *Des moyens de régulariser la tension des câbles.*

La plus légère différence dans la longueur des câbles et des amarres en occasionnant une sensible dans la hauteur du plancher, on doit se réserver un moyen de pouvoir les tendre ou relâcher, tant pour parer aux erreurs d'exécution que l'on peut commettre en les fabriquant, que pour ramener le plancher à une hauteur déterminée s'il se dérangeait de sa position primitive. Il est plusieurs des causes qui peuvent produire cet effet que le calcul indique être assez légères pour qu'on puisse les négliger : telles sont celles qui sont dues à l'allongement produit par la variation de la température, ou au poids additionnel que peut recevoir le pont; mais il en est d'autres sur lesquelles l'expérience n'a pas encore prononcé, et qui ont besoin d'un laps de temps plus considérable que celui qui nous sépare de l'époque où l'on a commencé à construire des ponts suspendus. Tel est l'allongement qui pourra être occasioné à la longue par la pénétration du fer dans les parties anguleuses des chaînes qui ne porteront pas sur des surfaces suffisantes, l'usance et l'oxidation due au frottement dans les endroits en contact, ou enfin la compression du bois lorsqu'il formera suite au système de la suspension. Il paraît cependant que la plupart de ces inconvénients n'ont pas paru assez graves à plusieurs constructeurs anglais pour mériter leur attention, puis-

que dans la plupart de leurs constructions ils ont négligé les moyens d'y remédier ; M. Brunel cependant, dans deux ponts qu'il a exécutés pour le gouvernement français, a divisé en deux parties le boulon qui rassemble les chaînes, afin que l'on pût au besoin y chasser des calles en fer et la raccourcir ou l'allonger ainsi à volonté.

Ce moyen ne peut être employé pour les câbles en fil de fer, et c'est pour cela que j'ai proposé de le remplacer par une masse en fonte, de forme pyramidale, ayant pour base un carré long, à travers laquelle on fait passer des barres taraudées portant à leur bout des anneaux dans lesquels on enfile les câbles. La force de ces pièces doit être calculée suivant la règle des leviers dont j'ai déjà parlé, j'en donnerai une seconde application en supposant qu'elles doivent résister à un effort de 12,500 kil.

Comme la section GH (fig. 10) est la plus faible, nous nous contenterons de calculer ses dimensions; et, pour cela, supposons d'abord qu'elle ait $0^m,400$ de large, et $0^m,040$ d'épaisseur, la surface dans cette section sera de 16,000 millimètres, et pourrait résister à une traction de 160,000 kil.; mais, comme l'effort agit avec un levier IK de $0^m,20$; il suit que l'effort qu'il exercera pour désunir les parties de la section GH sera 10 fois plus fort, ou $0^m,200$ divisé par $0^m,020$; que, s'il était seulement la moitié de l'épaisseur de la plaque, divisant donc ce nombre par 10, on trouvera que sa résistance est de 16,000 kil.

Il ne faut pas perdre de vue que ce nombre indique le poids qu'il faudrait pour briser la fonte, et que dans la pratique on ne doit jamais déposer le quart de cette quantité, vu surtout l'incertitude des pièces coulées, qui peuvent avoir intérieurement des défauts cachés dont on ne peut s'apercevoir, et c'est pour cela qu'il sera bien de les faire fondre toutes massives et les percer après pour éviter les bulles d'air qui se dégagent fréquemment des noyaux pendant qu'on coule les pièces et occasionent des parties vides connues des fondeurs sous le nom *d'enssouflures*.

Lorsque l'on emploie, pour les amarres, une pièce de bois comme on le voit (fig. 14), on peut faire servir la partie taraudée à régulariser la tension en ménageant par derrière une cavité indépendante de l'amarrage, que l'on ouvre de temps en temps pour les visiter et veiller à leur entretien.

Si l'on remplaçait les culées en pierre par des pallées en bois (fig. 14), on se servirait des pièces mêmes qui forment la pallée en la faisant traverser par des boulons auxquels on accrocherait d'un côté les câbles, et de l'autre les amarres, ayant la précaution de mettre plusieurs rondelles très-larges devant les écrous pour les empêcher de s'imprimer dans le bois, et l'on veillerait à ce que la direction des boulons fît exactement suite à celle des câbles et des amarres.

III. *Amarres des culées.*

Nous avons donné le moyen, en parlant des culées, de calculer la résistance que l'on devait donner à leurs amarres, pour résister à l'effort des câbles. Ces chaînes ou cordes peuvent se faire en fer, ou en fil de fer, de la même manière que les câbles suspenseurs; mais il faut observer, dans ce dernier cas, de ne pas les faire arriver jusqu'au terrain, tant pour les mettre à l'abri des dégradations que pour éviter le voisinage du sol, où, étant exposées à l'humidité, elles ne tarderaient pas à être attaquées et promptement détruites par la rouille. Dans les constructions anglaises, où l'on emploie le fer, on forme des chaînes avec des barres de 5 à 6 mètres (1), que l'on renfle et aplatit par le bout; on y perce ensuite un trou ovale, dans lequel on fait entrer un goujon de même forme, (fig. 28 et 29,) et l'on assemble les barres deux à deux avec des anneaux courts. Cette méthode a le grand avantage d'avoir été mise en pratique dans les grands ponts en usage en Angleterre, qui tous

---

(1) Navier, *Mémoire sur les ponts suspendus.*

sont faits de cette manière; il semble cependant qu'appliquée aux câbles suspenseurs, il devrait en résulter un frottement dans les parties d'assemblage, qui pourrait faire écailler les vernis, et les exposer ainsi à l'action de l'air; mais, comme amarres, elle est à l'abri de cet inconvénient, et sous ce point de vue me paraît devoir mériter la préférence. Ces amarres, lorsque l'on emploie des palées en bois, doivent avoir, comme nous l'avons déjà dit, une force relative à leur inclinaison, et dans tous les cas être très-renforcées dans les parties inférieures qui, enfoncées dans la terre, sont sujettes à être détruites par la rouille. On ne doit employer le scellement avec du plomb ou autre métal, que lorsque l'on n'a pas d'autre moyen de les fixer, parce que le contact de métaux de diverses natures, surtout dans un lieu humide, contribue à les détruire très-promptement, et c'est pour cela que, si l'effort n'est pas très-considérable, on les fixera à des pièces de bois, réservant les lentilles en fonte pour les grands ponts où l'autre moyen serait insuffisant.

CHAPITRE V.

DES CORDES VERTICALES DES PARAPETS, ET DES AMARRES INFÉRIEURES DU PONT.

Le plancher ou plate-forme qui sert de passage est, comme nous l'avons déjà vu dans le plus grand nombre de cas, suspendu aux câbles en fer par le moyen de cordes verticales dont on peut facilement déterminer la longueur par l'expérience, tandis que leur calcul présente beaucoup de difficultés. Il faut seulement observer que, si, au lieu d'une ligne droite, on voulait donner au plancher la forme d'un arc de cercle ou de tout autre courbe ou figure, il faudrait après avoir tracé cette figure sur le terrain, faire la même opération que l'on a exécutée pour mesurer les cordes et ajouter ensemble les valeurs correspondantes, en ayant égard au change-

ment qui en résulterait sur la hauteur des culées, la force des cordes verticales étant indépendante de leur longueur, on ne trouverait dans ce changement d'autres avantages ou inconvéniens que ceux qui naîtraient de la plus ou moins grande élévation des culées, résultant de ce changement de forme.

Les cordes verticales, dans les grands ponts, peuvent se faire de la même manière que les câbles, en remplaçant les coussinets par des espèces de sabots ou anneaux demi-circulaires qui portent dans le haut en travers des câbles, et qui par en bas s'emboitent dans l'extrémité des traverses en bois sur lesquelles la plate-forme est établie. Le nombre de brins dont elles se composent, et leur espacement, sont relatifs aux usages pour lequel est destiné le pont, de manière que chacune puisse supporter la moitié du poids dont pourra être chargé le plancher entre les espaces terminés par deux cordes.

Comme les câbles pourraient être détruits dans leur partie supérieure par le frottement du sabot, il sera bien, pour prévenir cet inconvénient, de les envelopper de fil de fer recuit, et fortement serré; ce bourrelet serait assez solide pour empêcher les cordes de glisser le long des câbles qui forment la courbe; il ne serait pas prudent cependant, dans les parties les plus élevées des grands ponts, où la courbure est la plus grande, de s'en tenir à ce moyen, parce qu'il exposerait ces parties à un tiraillement qui pourrait faire écailler les vernis. Il faudra donc arrêter entre elles les premières cordes verticales du côté des culées, avec quelques brins de fil de fer, dont le nombre diminuera avec la longueur des cordes.

Un des plus grands inconvéniens des ponts suspendus étant le vacillement qu'y occasione tout corps en mouvement qui a une masse un peu considérable, on doit employer tous les moyens possibles pour leur donner de la rigidité; le meilleur que je connaisse consiste à disposer, pour servir de parapet, un assemblage de pièces de bois composées de deux rangs de longuerines AB, CD (fig. 9),

liées ensemble et maintenues, à la distance d'un mètre l'une de l'autre, par des traverses EF, GH, disposées en croix de saint André, qui viennent se joindre bout à bout en formant entre elles un angle droit. On maintient cet assemblage par le moyen de boulons en fer IK, qui, traversant les pièces de bois entre les joints des traverses, permettent de le serrer à volonté, et lui donnent une grande solidité.

Les amarres destinées à empêcher le balancement seront fixées aux culées le plus bas qu'il sera possible, sans trop gêner la navigation, à des anneaux ou crochets, que l'on implantera pour cet objet dans la maçonnerie : elles sont surtout essentielles lorsqu'on fait des ponts très-légers, ou établis directement sur les cordes, parce que la quantité de mouvement acquis est toujours proportionnel à la masse en repos et en mouvement.

CHAPITRE VI.

DES PLANCHERS.

La première qualité des planchers, ou plate-formes des ponts suspendus, est d'avoir le plus de rigidité possible, et c'est pour cela qu'on aura soin d'en lier entre elles les diverses parties, de manière à obtenir un assemblage qui puisse en empêcher la désunion.

On attache ordinairement aux cordes verticales des traverses sur lesquelles on fait porter le plancher; on pourrait également employer des pièces longitudinales pour supporter les traverses; mais il me paraît qu'il faut dans tous les cas établir les plateaux en long plutôt qu'en travers; ils doivent être de la plus grande dimension possible; leurs joints bien dressés et très serrés entre eux, afin d'éviter le balancement horizontal, qui est une suite du manque de liaison dans le plancher. On doit avoir soin aussi de bien assujétir les têtes du pont aux culées : on peut, pour remplir cet objet, sceller

dans la maçonnerie des tiges de fer taraudées par le bout, et lorsque le plancher est fini on le recouvre d'une bande de fer percée de trous à la même distance entre eux que les barres taraudées que l'on y fait entrer, et l'on serre alors le plancher saisi ainsi entre la barre et la maçonnerie.

La force des pièces du plancher doit être calculée suivant leur portée. L'expérience a démontré qu'une pièce de chêne de 3 mètres de long sur un décimètre d'équarrissage pouvait supporter environ 1,500 kil., mais on ne doit, dans la pratique, les exposer à être chargées que d'un cinquième à un dixième de cette quantité, si l'on veut qu'elles aient une durée un peu considérable : on conçoit que l'emploi auquel sera destiné le pont influera considérablement sur la force relative de ces diverses pièces : s'il n'était, par exemple, qu'à l'usage des piétons, on calculerait la charge de chaque point en la comparant à la surface à laquelle il correspond, puisqu'on pourrait regarder sensiblement cette masse d'hommes comme un poids homogène; mais, s'il était question d'y faire passer une voiture, quoique le calcul démontre que des hommes serrés les uns contre les autres et occupant le même espace que la voiture, pèsent plus qu'elle, il y aurait cette différence que, la voiture portant sur deux points seulement, il faudrait que deux ou quatre cordes verticales et chaque point du plancher isolément pussent supporter tout cet énorme poids.

Lorsque l'on est ainsi arrêté sur les dimensions des bois qui composent le plancher, on se rend un compte exact de son poids en en cubant les diverses parties et multipliant le total par 1,000 kil., qui est à peu près le poids d'un mètre cube de chêne vert, c'est-à-dire le même que celui d'un volume égal d'eau. On ajoute ensuite ce poids à celui du fer et à la charge éventuelle, ce qui donne, ainsi que nous l'avons vu, le moyen de déterminer la force et la dimension de toutes les autres parties.

CHAPITRE VII.

DESCRIPTION MÉTRÉE ET ESTIMATION D'UN PONT CONSTRUIT SUR LA RIVIÈRE DE LA GALORE, A SAINT-VALLIER, DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE.

I.

Ce pont, que nous avons construit pour vérifier, par la pratique, si quelques dispositions que la théorie nous avait indiquées remplissaient exactement le but proposé, et pour nous servir d'essai relativement à la grande construction de Tournon dont il n'est éloigné que de deux lieues, est destiné au passage des piétons, des cavaliers et des bêtes de somme; il est situé près d'un jardin fort agréable appartenant à feu M. de Saint-Vallier, et semble être un ornement nouveau ajouté aux constructions de goût dont il s'était plu à embellir le vallon de la Galore, si agréable dans cette partie.

Le plancher est élevé de 5 mètres au-dessus du niveau de l'eau; sa longueur totale, d'un milieu de pilier à l'autre, est de 30 mètres; et la largeur, de $1^{m},65$.

Des parapets très-solides lui donnent une telle rigidité, que quinze ou vingt personnes qui se promènent dessus ne lui font presque pas éprouver de vibration sensible. J'ai essayé de le traverser, accompagné de trois de mes frères, au pas cadencé, sans qu'il entrât en vibration; et j'ai su depuis que plusieurs personnes l'avaient traversé sans descendre de cheval, quoique le pont se trouvât chargé dans cette circonstance de trois autres cavaliers avec leurs montures, mais qui, plus prudens, avaient mis pied à terre. On m'a même assuré y avoir vu passer un homme au galop, sans que le pont vibrât d'une manière bien sensible. Ce plancher est suspendu à quatre câbles en fer, de deux centimètres de diamètre environ, au moyen de cordes verticales. Les câbles, après avoir passé sur des piliers carrés de $2^{m},20$ de haut, viennent s'accrocher

à des tringles de fer qui sont arrêtées elles-mêmes à des pièces de bois de chêne chargées d'une partie du massif des culées. Il a été construit dans la propriété et aux frais de quelques particuliers intéressés à se procurer un passage, à la place d'un ancien pont ruiné dont la fondation présentait encore quelques vestiges assez solides pour y établir les culées.

Sa longueur devait être, dans le principe, de 25 mètres, et sa hauteur, au-dessus des basses eaux, de 4 mètres. Des culées, de $1^m,50$ épaisseur à la base, et un mètre au couronnement, accompagnées de murs en aile, d'un mètre d'épaisseur à la base, et $0^m,50$ à la partie supérieure, me semblèrent suffisantes pour résister au tirage des câbles, et servir de base aux piliers en grès de $2^m,20$ de haut, sur $0^m,65$ au carré destinés à les soutenir. Telles étaient les dispositions primitives qui avaient déjà reçu une partie de leur exécution, lorsque des convenances locales firent décider les intéressés à porter la longueur du pont à 28 et ensuite à 30 mètres, et à élever les culées à 5 au lieu de 4 mètres.

La limite de dépense à laquelle on était restreint força d'employer, tels qu'ils étaient, les matériaux destinés pour les piles, et de continuer, sur les mêmes dimensions, le travail des culées, en sorte que ces diverses parties se trouvaient être alors plus faibles que ce que demandait le calcul. Cependant, comme il était bon de nous assurer, par une expérience décisive, quelle confiance méritaient les calculs sur la résistance des maçonneries et des massifs, nous n'hésitâmes pas à tenter cet essai, et il fut convenu que nous resterions chargés de fournir, poser et transporter sur les lieux, à nos risques et périls, tout le système de suspension et le plancher, moyennant 1,800 fr., qui, joints à 1,500 fr. pour les maçonneries, et 6 à 700 francs employés en remblais ou autres objets accessoires, devaient former une somme d'environ 4,000 francs, à laquelle s'est élevée effectivement toute la dépense du pont. La culée de la rive droite est établie sur un reste de fondation; sa

hauteur est de 5 mètres au-dessus de l'étiage du Rhône, qui en est éloigné de 200 mètres environ, et sa largeur au niveau du plancher, de $3^m,20$; son épaisseur est de $1^m,50$. Les murs en aile, fondés également, ont 1 mètre d'épaisseur à la base, et $0^m,50$ au couronnement. Les piliers sont tous semblables; ils reposent sur les angles que font les piles avec les murs en aile, et ont, comme nous l'avons vu, $2^m,20$ de haut sur $0^m,65$ d'équarrissage, portant à la partie supérieure un plinthe $0^m,25$ de haut sur $0^m,02$ de saillie.

Au-dessus des piliers sont placés deux plateaux de bois de chêne formant dos d'âne de $0^m,40$ de large sur $0^m,20$ d'épaisseur, surmontés de deux vases en fonte de fer, qu'on se propose d'y placer pour ornement. Ces plateaux sont retenus à la pierre par deux ceintures en fer de $0^m,030$ de large sur $0^m,015$ d'épaisseur, creusés à la place que doivent occuper les câbles de rainure de $0^m,02$ de profondeur. Les quatre câbles en fer qui soutiennent le pont entrent dans ces rainures; ils sont formés de la réunion de trente brins de fil de fer du n° 18, envidés sur deux demi-anneaux ou coussinets en fonte de fer, ayant dans le milieu $0^m,01$ d'épaisseur et arrêtés à des tringles de fer de $0^m,02$ de diamètre, qui, passant entre les branches des demi-anneaux, viennent en double se boulonner derrière des pièces de bois de chêne de $0^m,30$ au carré, engagées de chaque bout dans la maçonnerie des murs en aile, et chargées de deux ou trois gros blocs de pierre dure, de $0^m,50$ cube environ, sur lesquels on a établi une maçonnerie jusqu'au niveau du plancher, de manière qu'en relevant les remblais par derrière, on pût, sans attaquer ce massif, remplacer ou réparer les amarres en fer, si l'on présumait que besoin y fût.

Le massif de la rive droite a 2 mètres environ de hauteur; mais celui de la gauche n'a que $1^m,40$, vu que le coude des murs en aile n'a pas permis de s'éloigner de plus de 4 mètres des piliers, ni la faiblesse de ces derniers d'amarrer sous un angle à l'horizon de plus de 45 degrés.

Le plancher est suspendu aux câbles au moyen de cinquante-huit cordes verticales de quatre brins; elles y sont arrêtées à la partie supérieure avec quelques tours de fil fin et recuit, et passent sous les traverses à la partie inférieure. Ces cordes sont formées par une seule branche de fil de fer, formant quatre doubles dont les bouts sont liés ensemble avec du fil n° 1, l'espace de $0^m,06$ environ. Leur longueur a été déterminée en suspendant à un fil de fer de même longueur que le pont, vingt-neuf poids de $0^k,5$ chaque, et tendant le fil jusqu'à ce qu'il formât dans le milieu une flèche de $2^m,20$ égale à la hauteur des piles. Ces cordes verticales furent fixées aux câbles dans nos ateliers, et le tout transporté ainsi sur les lieux et mis en place sans de grandes précautions. On commença alors à enfiler les traverses dans les cordes verticales, en les couvrant de planches pour servir d'échafaud à mesure que l'on en mettait de nouvelles; mais on s'aperçut bientôt que les amarres qu'on n'avait pas fini de charger cédaient légèrement. Cet effet, ajouté à un peu d'allongement des tringles et à la pénétration des écrous dans le bois, fit renverser les piliers en avant de deux ou trois centimètres; on y remédia aussitôt en augmentant la charge et ramenant les piliers, au moyen des écrous des amarres, à la position verticale qu'ils n'ont plus dès-lors perdue.

Les traverses, au nombre de vingt-neuf, sont espacées d'un mètre; leur longueur est de deux mètres, leur hauteur de $0^m,14$, et leur largeur de $0^m,08$; elles sont attachées alternativement à chacun des câbles. Le plancher est directement établi dessus; il est composé de six rangs de plateaux de $0^m,26$ de large, et $0^m,054$ d'épaisseur, avec un intervalle entre eux de $0^m,01$ pour l'écoulement de l'eau. Le parapet fut placé aussitôt que l'on eut fini de poser les traverses; il est formé par deux rangs de longuerines de $0^m,11$ de hauteur, $0^m,075$ de large, assemblées entre elles à trait de Jupiter, et maintenues à la distance de 1 mètre l'une de l'autre par le moyen de croix de saint André de $0^m,06$ de côté. Entre

chacun des joints de cet assemblage sont des boulons de $0^m,015$ de diamètre, qui, embrassant les longuerines et les traverses, lui donnent une telle solidité qu'il est impossible, quelque effort que fassent une ou plusieurs personnes, soit en marchant au pas, soit en sautant dessus, de lui procurer aucun mouvement vertical : mais dans le sens horizontal la rigidité est moindre ; et une seule personne, en écartant les jambes de manière à mettre les pieds près de chacun des parapets, parvient, en se balançant un peu lentement, à lui procurer un mouvement très-sensible, et qui finit par devenir fatigant : il a beaucoup de rapport avec celui qu'on éprouve à bord d'un vaisseau.

Ce pont étant destiné particulièrement à des piétons, et rarement à des chevaux, il fut convenu qu'il serait essayé par un poids de 5,000 kil., qui, joint au sien propre, devait occasioner sur les câbles et les culées une traction de 17,000 kil. environ. Cet effort était peu considérable pour les câbles et les amarres, mais il était presque la dernière limite de résistance de la culée de gauche, qui se composait d'un parallélipipède de 5 mètres cubes environ, qui, à 2,800 kil. le mètre, ne formait un poids que de 14,000 kil., inférieur à celui dont nous avions besoin ; mais l'on pouvait supposer que l'effort des amarres serait décomposé suivant l'horizontale et la verticale, et que dès-lors il suffirait de faire équilibre à cette dernière, égale à 12,000 kil.

Telles étaient les circonstances dans lesquelles fut fait cet essai. On commença à charger le pont de gravier avec des gabions et des civières, jusqu'à ce que l'on eût atteint 4,500 kil. environ. Quelques-uns des intéressés présens demandèrent alors que l'essai ne fût pas poussé plus loin, de crainte que quelques parties du parapet n'éprouvassent des détériorations, et sur la certitude qu'il ne serait jamais exposé à un poids à beaucoup près aussi considérable. Mais comme le principal actionnaire manquait ; que d'ailleurs j'étais persuadé, ainsi que mes frères présens, qu'il n'y avait

aucun danger à pousser l'épreuve à la fin, nous n'hésitâmes pas à nous placer nous-mêmes dessus, en invitant quelques personnes présentes à en faire autant, persuadés que quelques lézardes dans les murs ou quelques mouvemens dans le massif nous indiqueraient assez à temps de nous retirer s'il y avait quelque danger. L'épreuve fut donc constatée comme il suit :

Gravier.	4,500
Poids de quinze personnes..	900
	5,400

et l'on s'occupa à décharger le pont au moment même où l'intéressé absent arrivait. Sur l'observation qu'il fit que, le pont étant destiné au service des passans, il désirait savoir s'il résisterait d'une manière satisfaisante à la réunion de quarante personnes en marche sur le plancher, nous fîmes enlever près de la moitié des graviers que l'on y avait accumulés, et l'engageâmes à nous y accompagner avec quarante personnes, afin de recommencer une épreuve que nous savions être au-dessous de la limite de la précédente. Mais l'affluence des curieux était telle que, chacun s'y étant porté à l'envi, il fut impossible d'arrêter le mouvement assez à temps, et l'on évalua à soixante-dix ou quatre-vingts le nombre de ceux qui s'y étaient trouvés ensemble ; la charge à cette époque fut donc :

Gravier.	2,500 kil.
Soixante-dix personnes à 60 kil..	4,200
	6,700

Cette épreuve si terrible ne produisit cependant aucune lézarde dans les murs ni aucun mouvement dans le massif : ce qui semble indiquer que dans les amarres ainsi disposées on peut à peu près compter intégralement sur ce qu'annonce le calcul.

II.

CALCUL DES EFFORTS ET DES RÉSISTANCES.

Poids des matériaux qui doivent charger les câbles.

FER ET FIL DE FER.

ıatre câbles de trente brins chaque de 32^m de long.	3840^m		
nquante-huit verticales de quatre brins d'une longueur moyenne de 1^m. . . .	232		
ıatre amarres inférieures pour assujétir le plancher de six brins de 8^m50 de long.	204		
ens des cordes et des câbles estimés. .	224		
	4500		261^k
ıids d'un mètre fil de fer.	$0^k,058$		
nquante-huit boulons de 1^m30 long., et de $0^m,015$ à $1^k,70$.			98 60
ngt-quatre boulons pour renforcer les lisses des parapets $0^k,02$.			4 80
ous pour le plancher.			16 60
			381^k

BOIS DE CHÊNE.

ıngt-neuf traverses de 2^m de longueur, ensemble.	58	$0^m,65$		
ʒuarrissage de $0^m,14$ sur 0^m08.	$0^m,0112$			
ɔngueur totale des lisses du parapet. .	120	$0^m,99$		
ʒuarrissage de $0^m,11$ sur $0^m,075$.	$0^m,00825$			
ent vingt pièces de $1^m,40$ de longueur formant la croix de saint André. . . .	168	$0^m,60$		
quarrissage de $0^m,06$.	$0^m,0036$			
ongueur du plancher. . . . . 30 / argeur. 1,66	$4^m,98$	$2^m,68$		
païsseur.	$0^m,054$			
			$4^m,92$	4575 60
oids d'un mètre cube de chêne.			930^k	
ernis et humidité				43 40
ıpreuve convenue				5000
				10,000

Cette quantité multipliée par 30, largeur du pont, et divisée par $17^m,60$ ou huit fois la flèche, que nous avons vue être de $2^m,20$ (1), nous donne 17,000.

Mais la charge dans l'épreuve ayant été réellement de 6,700, il suit que cet effort avait été de 11,700 kil. qui, multipliés par $\frac{300}{176}$, = 20,000 environ. Les quatre câbles sont composés de trente fils qui, à 500 kil. chaque, pouvaient supporter ensemble 60,000; ils avaient été essayés dans nos ateliers, chacun par un poids de 5,000 kil.; les barres d'amarrage, de $0^m,02$ de diamètre, au nombre de huit, présentaient ensemble une section de fer de 2,512 millimètres carrés à 30 kil. = 75,360 kil., et avaient été éprouvées par 2,500 kil. chaque. Il restait les culées; celle de droite avait évidemment un excès de force; mais le massif de gauche n'ayant que $3^m,2$ de largeur, $1^m,40$ de hauteur, et $1^m,10$ d'épaisseur, ne présentait que 5 mètres cubes environ de solidité à 2,800 k. = 14,000 k.; il fallait donc supposer que l'effort de traction de 17,000 kil. qu'exerçaient les câbles serait décomposé suivant les directions horizontales et verticales, et que le massif n'avait besoin que de faire équilibre à l'une des composantes égale à $\sqrt{\frac{(17)^2}{2}}$ ou 12,000 kil. environ, et nous venons de voir que son poids était de 14,000 k.; il restait donc, à la rigueur, un excès de 2,000 kil., plus la cohésion que l'on pouvait supposer aux murs en aile; il n'y avait d'ailleurs aucune probabilité que la masse pût glisser en avant, vu sa distance à la culée. Mais il était douteux que les choses se passassent bien exactement ainsi, et que quelques-unes des parties de la muraille ou du massif qui, frais encore, n'avait pu acquérir que peu de cohésion, ne se détachassent pas de la masse : l'expérience a prouvé cependant que tout s'est passé suivant les indications du calcul.

On aurait pu, vu la faiblesse des piliers, craindre que l'effort ré-

---

(1) *Des ponts en fil de fer*, par Seguin aîné. Paris, 1824.

sultant de la différence des angles, des câbles et des culées, fût suffisant pour les renverser. En effet la traction des 17,000 kil., décomposée suivant l'horizontale et la verticale, exerçait un effort horizontal, du dehors au dedans, de

$$\frac{17000^k \times \sqrt{(30)^2-(8,8)^2}}{30}=16200^k,$$

et ce même effort du dedans au dehors n'était que de

$$\frac{17000^k \times \sqrt{\frac{(2)^2}{2}}}{2} = 12900^k.$$

La différence $4,200^k$ indiquait celui qui aurait eu lieu pour renverser les piliers si les câbles avaient pu glisser librement sur leur sommet. Leur résistance pour les deux de chaque côté, se trouvant composée de leur masse multipliée par la moitié de leur largeur et divisée par leur hauteur, était égale à

$$\frac{2.2 \times (0,65)^2 \times 2 \times 0,325 \times 2800}{2.20}=760^k,$$

quantité bien inférieure à celle ci-dessus. Mais, d'après les expériences de Coulomb, on peut calculer que la force employée pour faire glisser un corps sur un plan horizontal est approchante de la moitié de celle qui serait nécessaire pour le soulever. On pouvait donc supposer sans crainte que ce frottement équivaudrait à 4,200 —760=3,440, puisque, à la rigueur, la résistance eût été de près de 8,700.

Comme nous avions principalement en vue, en nous livrant à cette construction, de nous assurer à quel point le parapet donnerait de la régidité au plancher, j'ai comparé, au moyen des formules données par M. Navier, l'augmentation de flèche qui devrait être produite par le poids d'un cheval; que j'estime à 500 kil., dans un système parfaitement flexible, avec celle qu'il éprouve réellement. Il résulte que cette augmentation se trouve exprimée en désignant par

Π le poids du cheval. 500^k

f la flèche . . . . 2^{m},20

P le poids correspondant à l'unité de longueur du plancher $\frac{5000}{30}$ . . . . 166^{k}

h la demi-longueur du pont . . . . 15^{m}

$f^{1} - f = \frac{\Pi f}{4\,P\,h}$ (1), ou en remplaçant les lettres par les valeurs relatives au cas particulier que nous examinons,

$$f^{1} - f = \frac{500 \times 2.20}{4 \times 166 \times 15} = 0^{m},11.$$

L'abaissement devrait donc être de onze centimètres, tandis qu'il n'est pas appréciable.

III.

Métré et estimation.

Fouilles pour la fondation				18 fr.
Béton pour la culée de gauche			8^{m}.	

Maçonnerie.

Longueur de la culée dans le bas		4^{m},20		
dans le haut		3^{m},20		
		7^{m},40		
Moyenne		3^{m},70		
Épaisseur dans le bas	1^{m},50			
dans le haut	1^{m},			
	2^{m},50		4^{m},625	23^{m},125
Moyenne	1^{m},25	1^{m},25		
Hauteur			5	
Idem, pour l'autre côté				23^{m},125
TOTAL				54^{m},250

(1) M. Navier, *Mémoire sur les ponts suspendus*, art. 130, fol. 80.

REPORT.				$54^{m},250$
Longueur des 4 murs en aile	58	$43^{m},30$	$108^{m},750$	
Épaisseur moyenne	$0^{m},75$			
Hauteur moyenne		$2^{m},50$		
Masif des amarres			7	
			170	1275
Prix d'un mètre cube de maçonnerie			7f. 50	
Pierres de taille pour les angles et les piliers				200
				1493

Fers.

				f.	c.
Deux cent soixante-un kil. câbles en fil de fer, suivant le détail donné plus haut, à 2 fr. le kilogramme, prix auquel notre maison le livre au commerce, vernissés, essayés et prêts à être mis en place				522 fr.	
Autres fers forgés employés à la suspension			120^{k}		
Trente-huit happes pour les parapets, les plateaux, les amarres, les abouts du plancher, etc.			$25^{k},80$		
Seize verges de fer de $0^{m},02$ de diamètre pour les deux culées ensemble	108				
Aire ou section d'une verge de $0^{m},02$ de diamètre	$0^{m},000314$	$0^{m},034$	$265^{k},20$		
Poids d'un mètre cube de fer		7800^{k}			
			$411^{k},00$	493	20
Prix d'un kilogramme de fer en œuvre			1^{f} 20^{c}		
$4^{m},93$ cube bois de chêne pour le parapet et le plancher.			60 f.	295	20
Façon				150	
Transport d'Annonay à Saint-Vallier				60	
Peinture				55	
Pose				250	
				1825	40

FIN.

NOTES.

Note 1.

Sur la force du fer.

J'ai fait sur la force des fers plusieurs séries d'expériences, dont je donnerai malgré leur longueur, tous les détails, parce qu'il me paraît que quelques-un des propriétés de ce métal n'ont pas été encore assez étudiées, et que sur le vu d faits chacun pourra tirer des conclusions pour contribuer à perfectionner l'art de mettre en œuvre et l'appliquer aux nouveaux usages qu'il peut être appelé à rem plir; en examinant attentivement au microscope les parties du fer qui étaient br sées par le fort d'un poids lentement accumulé, j'ai observé que plus les barres rapprochaient de l'état de fer fondu, plus les cristaux étaient réguliers, polis, présentaient des lames brillantes et symétriques, tandis que le fer corroyé, étiré a marteau ou à la filière, paraît composé d'une multitude de filets poreux, et d'auta plus fins que le fil lui-même l'est davantage.

C'est sans doute à cette contexture fibreuse qu'est dû le grand excès de ténaci que possède le fil de fer sur le fer forgé; mais cette propriété paraît être restrein entre certaines limites et sujette à des maxima et des minima que l'on remarq dans le tableau des expériences qui suivent, et qui ont été également observées p plusieurs physiciens. Les anomalies intermédiaires que l'on observe dans le mê tableau, de deux en deux ou de trois en trois termes, viennent sans doute allongemens successifs qu'a subis le fer que l'on fait passer dans les tréfileries de ou trois fois par les filières avant de le recuire, et qui peut éprouver des gerçu lorsqu'il est trop tiré sans recuit, ou se rapprocher de la ténacité du fil recuit lo qu'il n'est tiré que légèrement après cette opération.

Du fer parfaitement pur et travaillé de la même manière possèderait sans dou toujours les mêmes propriétés; mais la première de ces conditions est, comme savent les chimistes, impossible à obtenir dans les arts, à cause du grand nombre substances étrangères qui accompagnent le minerai qui le contient, et dont il très-difficile de le dégager entièrement. Il est à présumer que les différences q l'on remarque entre les résultats d'expériences faites en divers lieux sur les f forgés, tiennent tant à la diversité des substances étrangères qu'il contient qu'à manière dont il est travaillé, et que certains minerais que l'on regarde comme

vant fournir des fers de qualité très différente, n'auraient besoin que d'être traités avec les modifications convenables pour présenter les mêmes résultats. Il est donc essentiel de tenir exactement compte de ces causes lorsqu'il est question d'évaluer l'effort qu'il peut soutenir, et d'éviter de confondre les fers de diverses dimensions et travaillés de diverses manières, lorsque l'on considère cette propriété. En Angleterre le fer est préparé par le moyen de cylindres qui, par des allongemens et des corroyages successifs, finissent par lui donner une contexture très fibreuse; lorsqu'on en brise un morceau on aperçoit facilement les diverses couches dont il est composé par la différence de grain; en sorte que, quoiqu'il soit moins dépouillé de matières étrangères que le fer travaillé au martinet, employé généralement en France, il a une ténacité bien supérieure.

Les essais que nous avons faits nous ont démontré que les fers de France, traités à la manière anglaise, jouissent de la même propriété; mais il est à présumer que, pour tous les usages où les fibres sont sollicitées à se séparer en filets, tels que les vis, écrous, pièces détaillées à la lime, etc., son emploi serait inférieur au martinet.

Les fers me semblent, dans ce cas, avoir beaucoup d'analogie avec les substances igneuses: ainsi on sait que le sapin, le châtaignier, le chêne, qui résistent dans e sens de leurs fibres plus qu'aucun autre bois, n'ont aucune solidité dans le sens)erpendiculaire à ces mêmes fibres, tandis que le bois de noyer, de buis, diffère peu le solidité, quel que soit le sens dans lequel il fait effort, et qu'il peut être découpe mpunément sans que les pièces pour cela acquièrent la fragilité propre dans ce :as aux autres bois.

Indépendemment de la ténacité, le fer acquiert encore, lorsqu'on diminue ses di- 1ensions, d'autres propriétés qui peuvent, dans certains cas, en rendre l'emploi lus avantageux. On sait qu'un corps soumis à une suite d'oscillations éprouve, pro- ortionnellement à ses dimensions, un déplacement dans ses molécules, qui finit par a altérer et en détruire finalement l'organisation. Cet effet, que l'on éprouve lors- u'on bande un ressort, est le même pour un barreau de fer que l'on charge sui- int sa longueur et qu'on abandonne ensuite à lui-même. Ces corps, après s'être longés et avoir repris leur position primitive un certain nombre de fois, finissent ir perdre complétement cette propriété, et cèdent sous des efforts d'autant moin- es que ces vibrations ont été plus long-temps et plus fortement continuées.

Cette faculté dont jouissent les corps a été étudiée avec soin par plusieurs ysiciens qui en ont conclu que l'élasticité du fer commençait à être altérée lors- 'on le chargeait d'un poids équivalent au tiers environ de celui qui pouvait le re rompre; mais les grandes différences que l'on retrouve entre divers fers, nt quelques-uns, tels que le fil de fer recuit, ne possèdent absolument aucune sticité, tandis que dans celui qui est fortement écroui cette propriété ne paraît

pas sensiblement altérée par des charges qui dépassent la moitié de sa force absolue, doivent laisser une grande incertitude sur cette assertion; et il est à présumer que cette faculté, quelque peu qu'elle soit mise en usage, doit finir par être détruite complétement, puisque nous voyons dans une foule de circonstances des substances élastiques altérées par les plus légers mouvemens, lorsqu'ils sont répétés un grand nombre de fois. Quoique les faits que l'on possède sur cet objet soient en trop petit nombre pour donner aucun éclaircissement sur les lois auxquelles ils peuvent se rattacher, ils m'ont cependant paru suffisans pour me faire penser que, lorsqu'on emploie le fer, on peut se tenir plus ou moins éloigné de la limite du tiers de sa force absolue, suivant la nature des services que l'on en exige. Dans les ponts suspendus, on a regardé assez généralement comme une règle reçue qu'il fallait donner au fer trois fois la force nécessaire pour le faire rompre; cependant s'il devait être continuellement exposé à cet effort on pourrait craindre qu'il ne finît par céder à cette charge, tandis qu'il pourrait être sans beaucoup d'inconvéniens soumis à un effort beaucoup plus considérable s'il ne devait l'être que dans quelques circonstances très rares. Il conviendrait donc de ne donner aux charpentes formant les planchers des ponts suspendus, que la masse strictement nécessaire pour leur faire acquérir une fixité qui rassura complétement les hommes et les animaux, et éviter par-là les dépenses et les difficultés d'exécution dans lesquelles on se jetterait en faisant des édifices trop massifs. Cet avis est celui de plusieurs ingénieurs français du premier mérite, et de M. Brunel, ingénieur civil à Londres, qui, pour donner de la fixité aux ponts suspendus qu'il a exécutés pour le gouvernement français, a employé inférieurement au plancher des arcs renversés en chaînes de fer, auxquels le système se trouve lié de la même manière qu'aux arcs supérieurs. Cette disposition a aussi pour but de défendre son ouvrage des ouragans violens qui ont fréquemment lieu dans l'île de Bourbon, où sont établis ces ponts. Ceux de Genève, qui ont une masse très-légère, sont fixés de chaque côté aux murs du fossé des remparts qu'ils servent à traverser, par des amarres qui remplissent parfaitement leur but. Enfin, le pont de Tournon est muni d'un parapet de $1^{m},25$ de hauteur, qui, fortement boulonné aux longuerines et aux traverses, réduit considérablement l'abaissement qui y serait occasioné par les voitures dans un système libre. Il est évident que l'effet de ce parapet pourrait être beaucoup augmenté en lui donnant de plus grandes dimensions. Cet effet est facile à concevoir en se rappelant celui qui est produit par un poids placé sur un point quelconque d'une courbe funiculaire. On sait dans ce cas qu'un des points ne peut s'abaisser sans qu'en même temps d'autres points ne se relèvent. Il en résulte que si le parapet est parfaitement lié, une portion des lisses supérieures devront être comprimées, tandis que d'autres devront être allongées. Supposons le poids dans le milieu D; la courbe tendra à

s'abaisser en D et se relever en E et F. Mais pour que ce mouvement ait lieu, il faut que la partie du parapet TVU forme un arc concave, tandis que les portions MET, UFR, formeront des arcs convexes. Si l'on suppose la masse du plancher inflexible, eu égard à celle des lisses du parapet, on aura l'expression de cette résistance, en supposant l'effort appliqué à un bras de levier VU ou VT, et agissant sur la lisse au moyen du levier DV, ou hauteur du parapet; il est évident qu'une partie de ce mouvement aura lieu sur l'élasticité du bois, et que l'effet d'abaissement sera susceptible d'une certaine limite que des considérations analytiques indiqueront facilement.

On observera que ces mouvemens, qui tendent à faire désunir les charpentes du parapet, n'auront pas à beaucoup près les inconvéniens qui résultent de cet accident dans les charpentes des ponts ordinaires; dans ces dernières le fardeau tendant continuellement à resserrer les assemblages, le moindre mouvement fait perdre à la construction la relation de ses différentes parties entre elles, et la forme cintrée d'où dépend la sûreté de l'édifice; tandis qu'ici les relations d'équilibre se rétablissant continuellement, laissent en regard entre elles les diverses parties de l'assemblage, que l'on est libre de resserrer ou remplacer aussi souvent qu'il est nécessaire.

La dimension des barres exerce aussi une influence sur l'altération provenant des secousses et des chocs. On sait combien dans certains cas est grande la fragilité du fer forgé. On décharge rarement une voiture de fer sans casser quelques barres, et souvent le forgeron, en frappant sur l'enclume, à l'une des extrémités de la barre, la fait briser dans le milien si le coup porte à faux. Il est certain qu'une réunion en faisceau de petites barres résisterait à toutes ces épreuves; et l'on en concevra facilement la raison si l'on observe que l'écartement des molécules pour un même mouvement est toujours proportionnel aux dimensions linéaires de la barre; cet effet est particulièrement sensible dans la partie arrondie des anneaux ou lorsque les barres font des coudes plus ou moins vifs, quels que soient les soins que l'on apporte à plier ces parties, les surfaces extérieures sont toujours plus ou moins épuisées, et l'on s'aperçoit de petits déchiremens; tandis que les parties intérieures sont resserrées d'autant les unes sur les autres. Dans une pareille barre, soumise à une série de vibrations prolongées, les petites gerçures font des progrès insensibles, parce qu'elles se trouvent placées le plus avantageusement possible pour augmenter, et finissent par traverser la barre en entier, et occasionent la rupture de cette partie malgré la précaution que l'on a toujours d'en augmenter la force. Le fils du célèbre Montgolfier, qui, à l'imitation de son père, enrichit chaque jour la science par l'observation de quelques nouveaux faits, a remaqué que la durée du fer de 9 à 10 centimètres carrés, employé aux jumelles des presses dans les papeteries d'An-

nonay, était d'environ cinq à six mois, lorsque l'effort de ces barres était de 8 kil. par millimètre carré. Il est aisé de conclure de là que les meilleurs fers de Bourgogne, tels que Pesme, Bernot, Audincourt, etc., qui sont employés dans ces manufactures, deviennent incapables de résister à l'effort de 8 kil., après avoir été chargés et déchargés de ce poids quatre à cinq mille fois au plus.

Un autre obstacle à l'emploi des fers de grosses dimensions est la difficulté de s'assurer de leur force, et l'incertitude où l'on est toujours de savoir si dans l'essai on n'a pas poussé la charge au point d'altérer la barre. On sait en effet, qu'outre les défauts cachés qui peuvent exister dans l'intérieur d'une barre, un ouvrier, quelque exercé qu'il soit, n'est jamais parfaitement sûr de faire une soudure qui réunisse complètement les deux sections du fer. Il pourra donc arriver que l'essai qui en sera fait se trouve immédiatement au-dessous de la limite de la ténacité de la barre dans cette partie, et lui fasse éprouver une altération qui la rende incapable de résister ensuite à des efforts beaucoup moindres : supposons, en effet, que l'on essaie une chaîne de 100 mètres composés de 20 chaînons, et qu'en la soumettant comme ont fait les Anglais, à une épreuve de 16 kil. par millimètre carré, un des anneaux vienne à rompre, il y aura une assez grande probabilité de croire qu'il se trouve dans la chaîne des anneaux qui auraient rompu sous 17 kil. 16,5^k; enfin à une limite aussi rapprochée que l'on voudra du nombre ci-dessus. Il sera donc de la plus sévère prudence de ne calculer la force absolue de la chaîne entière que sur 16 kil., et de ne la charger que d'un poids dont on présume que le renouvellement trop fréquent ou la continuité ne puisse l'altérer.

Si, indépendemment de la force, l'on envisage l'économie, on trouvera que les genoux occasionent une surcharge considérable : en les supposant de 6 en 6 mètres, L'étendue de ces genoux pour des barres de 5 centimètres carrés, par exemple, sera d'environ 15 centimètres, et la section du genoux étant dans l'assemblage anglais, à chacune des extrémités de la barre, à peu près neuf fois sa section, l'on voit que le quart au moins du poids de la chaîne sera employé en assemblages. Il semble au premier aperçu que ces genoux deviennent nécessaires pour empêcher les cordes verticales de glisser; mais si l'on fait attention qu'un corps, à l'état de poli où est le fer qu'on emploie pour ces constructions, ne commence à obéir à la gravité que sous un angle d'environ 30 degrés à l'horizon, on restera convaincu que la plus légère des causes fixera invariablement les verticales sur les câbles, puisque leur inclinaison est toujours fort au-dessous de la limite ci-dessus; un simple bourrelet en fil de fer, joint au vernis, a empêché complétemunt les verticales du pont de Tournon de se déranger de leurs positions; et cette précaution même n'a été prise qu'après l'achèvement entier de la construction.

Pénétré de l'ensemble de ces raisons, je n'ai pas hésité à donner la préférence

au fil de fer sur le fer forgé, et toutes les fois qu'il a fallu employer ce dernier à lui donner une section quadruple du fil de fer; la facilité de le tendre également fait disparaître la principale objection que l'on avait mise en avant, en démontrant que par la manière dont sont fabriqués les câbles, la plus grande différence de longueur qui peut exister entre les brins est infiniment au-dessous de l'allongement que peuvent subir ces mêmes brins, sans varier sensiblement de force.

Supposons en effet que, dans la confection des câbles de 33 mètres de long, on emploie du fil de fer du n° 18, dont le poids soit de 68 gr. le mètre, et la force absolue de 500 kil.; un fil de 33 mètres pèsera $2^k,25$, et deux hommes en le saisissant avec des pinces de bois lui procureront une tension de 60 kil.; il en résultera un arc de chaînette dont la flèche sera exprimée par $\frac{33}{8x} \times 2,25 = 60$, d'où X $= 0^m,15$. Dans cet état, l'expérience nous a indiqué qu'il était facile d'égaliser assez les révolutions, pour que la flèche formée par les fils les plus tendus ne dépassât pas d'un décimètre celle de ceux qui l'étaient le moins; il ne s'agit donc que de calculer quelle est l'inégalité de longueur entre les fils qui peuvent résulter de cette différence dans la flèche, et voir quelle est celle qui en résultera dans la tension des fils, eu égard à leur élasticité.

Cette recherche revient à déterminer S lorsque Y restant la même, la longueur de X devient successivement X $= 0^m,15$, X $= 0^m, 25$. L'équation $S = y\left(1 + \frac{2x^2}{3y}\right)$ résolue pour les deux cas pour le premier S $= 33^m,0018$, et pour le second S $= 33^m, 0050$; la différence 0,0032 entre ces deux valeurs égale à 0,0001 de la valeur totale, en la rapportant à l'échelle des allongemens on trouve que dans l'état permanent du pont de Tournon où les fils sont chargés du septième environ de leur force absolue, ou de 10 kil. par millimètre carré, et pendant les épreuves ou la charge est portée au tiers : la plus grande différence de tension ne peut dépasser 0,008 ou 4 kil. par fil, et dans le moment de la rupture, elle est au-dessous de 0,001 ou de 5 kil., parce que les révolutions des fils étant toutes dépendantes les unes des autres, s'égalisent alors nécessairement un peu entre elles. Tous ces résultats d'ailleurs sont confirmés par l'expérience n° VII, qui nous a démontré que la force absolue d'un câble en fer était à bien peu de chose près égale à la somme de ses brins, multipliée par la force de l'un d'eux.

Lorsque les cables sont très peu chargés, ils conservent la forme qu'avait le fil de fer au sortir des fabriques, et affectent des ondulations désagréables à l'œil; il reste aussi toujours quelques brins séparés des autres qui donnent au faisceau l'apparence d'une tension inégale : tel est l'effet que l'on a remarqué aux cordes verticales du pont de Tournon, malgré qu'elles aient été faites avec peut-être plus de soin que les câbles, mais si l'on observe que leur tension n'est guère que de

10 kil. par brin, ou de $1^{k},5$ par millimètre, et que ce poids est insuffisant lorsqu'on le suspend à un fil du n° 18 pour lui faire perdre la courbure qu'il a contractée dans les fabriques sur les tambours qui servent à le mettre en masse, on cessera d'être étonné de retrouver un effet qui est la suite naturelle d'une cause connue, et ne peut laisser le plus léger doute sur les résultats de solidité qu'indique le calcul.

Le tirage que le fil de fer éprouve dans sa fabrication est une épreuve suffisante de sa ténacité, à laquelle il n'aurait pas résisté, s'il avait eu quelques défauts : on peut d'ailleurs s'assurer à chaque instant de la force du fer que l'on emploie ; et si les essais, comme il arrive ordinairement, ne diffèrent entre eux que d'un dixième ou d'une quantité approchée, on peut conclure avec certitude que les câbles faits avec les précautions convenables supporteront la moyenne du poids multiplié par le nombre des brins ; un fil d'ailleurs peut se rompre sans que pour cela la solidité du faisceau sait compromise. Ce cas par suite de quelques fils altérés accidentellement, nous est arrivé deux ou trois fois lorsque les fils étaient chargés de 25 kil. par millimètre, et toujours la pression des révolutions supérieures a été assez forte pour empêcher aucun glissement, malgré que le câble ne fût encore lié en aucun endroit; opération que nous ne pratiquons qu'au dernier terme de l'épreuve. On conçoit combien ces ligatures faites de mètre en mètre, jointes à l'adhérence que les vernis établissent entre les brins, doivent augmenter cette résistance au glissement et la rapprocher de l'état des câbles ordinaires dans lesquels le frottement latéral de chaque brin est supérieur à sa ténacité (1). La continuité d'action paraît aussi beaucoup moins éprouver les câbles en fer, que le fer en barres ; un câble de 100 brins employé à notre machine d'essai a été chargé plus de trois cents fois d'un poids de 30 kil. par millimètre carré, sans avoir pour cela éprouvé la moindre altération, tandis que des barres employées à la même machine au bout de 15 ou 20 essais, ont brisé sous 12 et même 10 kil. par millimètre carré, quoique de fer très sain et de bonne qualité ; mais cette série d'expériences faites à Annonay par mon frère Paul, pendant la construction des câbles du pont de Tournon, serait trop longue pour être rapportée ici, et il suffit d'en présenter les résultats sur l'exactitude desquels on peut aussi bien compter que sur celle dont j'ai donné les détails.

Dans les expériences faites chez M. de Chabrol en 1822 dans la terre de Crouzol sur des chaînes faites avec des tringles de fer de $0^{m},015$ carré, près de la moitié des

(1) Il est possible qu'un examen attentif démontra un grand avantage à remplacer par de pareils câbles en fil de fer les manœuvres mortes des gros vaisseaux.

barres ont rompu (1) sous le poids de 18 à 20 kil. par millimètre carré, dont on les avait chargés pour essai.

En faisant la comparaison des deux procédés, on trouvera que, vu la facilité d'exécution, la mise en place, le remplacement, le prix, etc., l'avantage est incontestablement du côté de l'emploi du fil de fer; les ateliers et les machines pour fabriquer les câbles sont à la vérité considérables, et demandent beaucoup de soin et de surveillance dans l'exécution; mais ces premières avances faites, et les ouvriers une fois formés, il est possible de les livrer au commerce à un prix assez modique pour les mettre à la portée de tous les besoins. Jusqu'à présent notre maison a pu les livrer à 2 fr. le kil., prêts à être mis en place; mais si l'augmentation progressive des fers continue, elle nous forcera sans doute à établir pour les câbles la même proportion de prix.

Le seul désavantage que l'on puisse opposer à l'emploi des câbles en fils de fer, est la plus grande facilité que l'on suppose qu'ils auront à s'oxyder : c'est une question que l'expérience seule peut décider; car, si l'on a soin d'enduire assez exactement les câbles pour que les intervalles qui séparent les brins en soient entièrement remplis, et qu'on renouvelle les couches aussi souvent qu'on s'apercevra qu'elles en auront besoin, on ne voit pas trop comment l'augmentation de surface pourrait influer sur l'oxidation. Une partie du système d'ailleurs étant à couvert par la toiture des piles et des culées se trouvera, par cela même, à l'abri de tout danger; il ne restera donc que la partie des câbles exposés à la pluie, pour lesquels la dépense d'une couche de vernis est à peine de 200 fr. Il est d'ailleurs des parties du système que je regarde comme bien plus exposées à être attaquées par la rouille; telles sont les barres de fer qui pénètrent derrière nos culées dont la section est quatre fois celle des câbles, et la charge permanente de 2k,5. Je ne doute pas cependant, vu le peu de facilité de s'assurer de leur état, que le besoin de remplacement ne se fasse sentir avant tout dans cette partie. J'ai été à portée d'examiner dans plusieurs circonstances, des fils de fer employés à soutenir des treillages, qui, au bout de trente ans, étaient encore fort peu altérés, malgré l'humidité qui accompagne toujours la végétation, et qu'ils n'eussent jamais été préservés par aucun enduit. On voit souvent des fenêtres de cave garnies de fils de fer dont l'existence, fort ancienne, atteste la lenteur avec laquelle il se détruit même dans une atmosphère presque toujours saturée d'humidité. Enfin l'on voit les communications des sonnettes de nos appartemens traverser des murs, des escaliers des lieux souvent humides, et résister cependant, sans entretien, un grand nombre d'années. L'oxydation

(1) M. Navier, *Mémoire sur les ponts suspendus*, folio 60.

du fer en général exposé à l'air est très-lente. On voit, dans des monumens très-anciens, des parties de fer auxquelles une légère couche d'oxyde a servi de tunique pour les garantir de l'air humide : tels sont les anneaux pour amarrer les vaisseaux que l'on retrouve encore très-bien conservés à Aigues-Mortes, malgré que depuis plusieurs siècles cette ville soit abandonnée par la mer. Il paraît qu'une des causes les plus promptes de la destruction du fer est l'électricté développée par le contact des deux métaux, et que cette cause physique est bien plus efficace que celle de l'air humide : aussi me paraît-il que l'on ne doit employer les scellemens qu'avec la plus grande circonspection, et lorsque l'on n'a absolument aucun moyen de faire différemment. Tout le monde a remarqué à Londres la promptitude avec laquelle sont attaquées par la rouille les balustrades en fonte qui séparent les trottoirs des rues, des habitations particulières. Cet effet, qui n'a lieu qu'à la distance de deux ou trois décimètres du scellement, a été attribué avec beaucoup de vraisemblance par plusieurs physiciens au développement de l'électricité magnétique dû à la présence du plomb en contact avec le fer.

La ténacité du fil de fer recuit est à peu près la même que celle du fer forgé, mais il est complétement dépourvu d'élasticité, et s'allonge avant de briser du dixième environ de sa longueur primitive. Comme dans l'évaluation du poids que pouvait soutenir un fil de fer nous avions principalement en vue de déterminer le rapport qui existait entre la quantité de fer et le poids qu'il pouvait soutenir sous un diamètre donné, j'ai déduit le rayon et la section du poids d'un mètre courant; en sorte que ces dimensions pourront être sujettes à l'erreur qui pourrait provenir de la différence de la pesanteur spécifique. Le fil qui m'a servi à cette détermination était du n° 18 du commerce, un mètre juste de longueur pesait $8^g,404$ en nommant R le rayon, π son rapport à la demi-circonférence, et observant que le poids d'un mètre cube de fer $= 7780^k$, on a $1 : 7780 :: \pi R^2 : 8_g,404$, d'où l'on déduit le rayon $R = 0^m,0005861$, et pour la section $\pi R^2 = 0_m,00000\,108$ pour passer de là à l'influence que peut avoir l'allongement et le recuit eu égard à la partie convertie en oxyde, j'ai comparé le poids d'un mètre de fil de fer n° 7 avant et après le recuit, l'augmentation de poids provenant de l'absorption de l'oxygène pendant le recuit a été déterminée en prenant un mètre fil de fer n° 7, dont le poids était avant le recuit de .... $6^g.910$
Et après le recuit 6, 946

Différence 0, 036

La différence en excès de 36 milligrammes représente une pareille quantité d'oxygène combinée avec le métal ou 97 milligrammes, puisque l'oxyde noir est formé en poids de 100 parties de métal, et 37 d'oxygène; ce qui réduit le poids

du fil recuit à 6910 — 97 = 6813. L'allongement moyen avant de briser ayant été de 0,102 réduit encore le poids d'un mètre à 6813 — 6813 × 0,102 = 6118. Or, le fil à cet état a supporté $32^k,05$, il aurait donc supporté $\frac{32 \times 6910}{6118}$ — $36,20^{kil}$, s'il avait eu la même dimension que le fil non recuit, qui lui-même a soutenu 65,50.

Je vais passer au détail des expériences sur les fers, que je ferai suivre de quelques autres sur diverses substances, et dues à divers auteurs, afin qu'on puisse les retrouver réunies si l'on en avait besoin.

Expériences sur la résistance des fers tirés, suivant leur longueur.

PREMIÈRE SÉRIE. — *Fer forgé.*

On scelle dans un rocher granitique une barre de fer en A (fig. 23) portant à son extrémité un anneau dans lequel on fait entrer les barres en expérience; elles sont repliées à chaque bout en forme de ganse retenue par le boudin N (fig. 24), au moyen d'une frette GF, serrée à vis ou par une clavette dont la pression est contrebutée intérieurement par un coin I. La ganse inférieure est arrêtée de la même manière à l'anneau D (fig. 23), d'une barre en fer rond boulonnée à la poutre KL, qui porte sur le rocher au moyen d'une armature en fer K, en forme de couteau.

Le rapport des poids est exactement déterminé; on charge lentement avec des poids connus PQ, en faisant varier leurs positions.

I.

Fer provenamt des forges de Saint-Julien sur Saint-Chamond, travaillé au laminoir suivant le procédé anglais.

Numeros des expériences.	Dimension du fer.	Poids supporté.	Poids par millimètre carré.
	millim.	Kill.	Kill.
1	16 sur 8	5611	43 84
2	10 sur 8	4133	51 66
3	10 diamètre.	3743	48

Moyenne par millimètre carré. . . . . Kill. 47 83

II.

5 lignes 9 points de côté, soit 33 lignes carrées;

Par ligne carrée 155^k.

Par millim. *idem*. 30, 45.

Même disposition que le n° I.

La barre casse sous une charge de 5226 hilog., après avoir supporté 5129 kil.; la cassure présente un grain fin et régulier.

III.

4 lignes 6 points, soit 20,25 lignes carrées;

Par ligne carrée.. 280k

Par millimètre.. 55, 20

Même disposition que le n° II.

La barre de 6 lignes a été coupée dans le milieu, et soudée en sifflet : on l'étire ensuite jusqu'à ce qu'elle ait 4 lignes 6 points de côté, et on la laisse refroidir sans la faire recuire. On fait deux marques légères à $0^{m},330$ de chaque côté de la soudure.

TEMPS.	POIDS.	ALLONGEMENT.	LONGUEUR DE L'ESPACE sur lequel se fait l'allongement mètre sur 0,660.	CÔTÉ du fer où se termine l'allongement.	AIRE OU SECTION du fer où se termine l'allongement.
h. m. 7 40 On commence à charger.			Le fer se dépouille de la couche d'oxyde noir qui le couvre sur trois espaces de 100 millimètres environ chaque, éloignés les uns de autres de 50 millimètres sur un espace,		
8 »	kill. 4,377	millim. 8			
On charge lentement.					
8 10	5,161	18			
8 15	5,161	25			
On charge lentement.					
			400	l. 4,9	l. 22,56
8 30	5,580	30	500	5	25
8 40	5,580	42	550	5,3	27,56
9 10	5,688	54	660	5,6	30,25

L'endroit cassé, à l'œil nu, paraît d'un grain fin et serré ; vu à la loupe, il est composé de cristaux brillans en écailles irrégulières, mais

d'une plus grande dimension dans le milieu que jusqu'à une ligne des bords.

IV.

2 lignes de côté, soit 4 lignes carrées;

	k.
Par ligne carrée...........................	309 50
Par millimètre...........................	61

Même disposition que le n° II.

La barre de 6 lignes a été chauffée un peu au-dessus du rouge cerise, et étirée à petits coups de marteau : on a donné ainsi cinq chaudes successives, jusqu'à ce qu'elle fût ramenée à 2 lignes : on laisse refroidir sans recuire.

Heures.	Poids.	Allongement.
6 35′	545	1 millimètre.
7	1,060	1
7 15	1,238	4

Le fer s'allonge lentement pendant quelques secondes, sans qu'on puisse apercevoir une diminution d'épaisseur ni indice de la partie qui doit céder. Il casse après avoir supporté le fardeau 30″.

On rapproche les parties, et l'on mesure l'allongement qui se trouve de 8 millimètres; les couches d'oxyde n'ayant été écaillées que jusqu'à 10 à 12 mètres de chaque côté de l'endroit cassé, il n'a pas été possible de mesurer sur quelle longueur totale s'était fait l'allongement.

Vue au microscope, la partie brisée paraît composée d'une multitude de petites aiguilles grises très fines, très poreuses dans le milieu; mais beaucoup plus compactes vers les bords : on aperçoit dans le centre quelques faces irrégulières de cristaux.

V.

6 lignes de côté, soit 36 lignes carrées;

Par ligne carrée........................... 151

Par millimètre carré........................ 29,70

Même disposition que le n° II.

La barre de 6 lignes a été chauffée rouge à blanc, au point de souder, et refroidie lentement.

On fait deux marques, comprenant la partie chauffée, à un décimètre l'une de l'autre.

OBSERVATIONS.

Charges.	Allongement.	
3407 k.	m.	On fait serrer l'écrou M (fig. XXI), qui a 11 lignes de diamèt intérieur, sept rang de mailles d'une ligne avec une clef d 18 pouces, représentant un levier de 15 pouces, pour s'assur que les filets peuvent résister.
3407	0	Un homme serre avec facilité.
4220	0	*Idem.*
4840	1	L'oxyde noir dans la partie qui a été chauffée s'écaille; un homm serre l'écrou avec peine.
5282	1,5	Un homme seul ne peut serrer; deux hommes serrent facile ment.
5535	2	Deux hommes serrent sans peine; la barre a cassé dans l'endro où elle avait été chauffée; la vis et l'écrou n'ont pas éprouvé l moindre altération. L'allongement ne s'est fait sentir que dans l partie qui avait été chauffée.

La partie cassée, vue à la loupe, est en cristallisations irrégulières et écaillées striées légèrement en feuilles de fougère; un des coins présente une multitude d petits filets fins et poreux comme le fil de fer.

VI.

5 lignes 11 points de côté, soit 35 lignes carrées,

Par ligne carrée........................ 151 kilog.

Par millimètre carré.................... 29,70

On fait deux marques à 0, 1 ap mètre distance l'une de l'autre.

Poids.	Allongement.
4220	1
4840	2
5282	2,5

La fracture a lieu dans la ganse supérieure qui portait sur l'anneau dans un section de 36 lignes carrées.

VII.

9 lignes larges sur 9 points épaisseur 6,75 lignes carrées.

Par ligne carrée........................ 228 kilog.

Par millimètre carré.................... 44,70

On replie la bande, appelée vulgairement fer de ruban, par chaque extrémité que l'on serre fortement avec un petit étau, après l'avoir fait passer dans chacun des anneaux.

On fait deux marques à 0,1 mètre de distance l'une de l'autre.

OBSERVATIONS.

Poids.	Allongement.
540	0
1236	1
1324	4 L'allongement se fait sans que l'oxyde s'écaille.
1368	6
1412	7
1456	8
1500	11 Les couches d'oxyde se détachent.
1541	15

La bande casse après avoir soutenu le fardeau quarante secondes.

La partie brisée, vue à la loupe, présente une multitude de petites écailles très poreuses comme le fil de fer, mais d'une contexture plus spongieuse.

Pour s'assurer de la ductilité du fer, on le plie avant de pouvoir le casser dix-sept fois sur le genou, de manière à lui faire parcourir chaque fois une distance angulaire de 180 degrés en sens opposé de la flexion précédente.

DEUXIÈME SÉRIE. — *Fer tiré à la filière.*

I.

Fil de fer de Bourgogne de fabrique inconnue du n° 8, recuit inégalement.

Poids d'un mètre courant..............	0^{k},008404
Diamètre...........................	0^{m},0011722
Section............................	0^{m},00000108
Poids moyen supposé................	41^{k},30
Idem par millimètre carré.............	38, 24

La longueur des fils est de 1^{m},50. Pour mesurer l'allongement, on fait deux marques à un mètre de distance l'une de l'autre.

Numéros des expériences.	Poids supportés.
1	42
2	41
3	40
4	42
5	42
6	42
Moyenne.................	41 30
Moyenne par mill. carré....	38 24

II.

Mèmes fils (n° 7), exactement recuits.

Poids d'un mètre	0^k,006910
Diamètre	0^m,001062
Section	0, 000000888
Poids moyen supporté	32^k,5
Idem par millimètre carré	36, 09
Allongement moyen	0, 102

ALLONGEMENT PAR MÈTRE.

poids.	Numéros des expériences. 1	2	3	4
	millim.	millim.	millim.	millim.
23	2	10	2	2
24	3	12	3	4
25	6	13	4	6
26	9	14	5	10
27	14	16	6	22
28	24	»	»	50
29	42	24	30	62
29,20	44	32	32	»
29,40	50	36	40	»
29,60	52	44	44	»
29,80	55	52	52	»
30	58	54	58	70
30,20	60	58	60	72
30,40	62	62	62	74
30,60	64	68	64	76
30,80	70	72	68	78
31	76	80	72	80
31,20	82	»	74	82
31,40	86	»	76	86
31,60	»	»	78	94
31,80	»	»	80	100
32	»	»	86	108
32,20	»	»	96	122
32,40	»	»	104	»
32,60	»	»	110	»
32,80	»	»	116	»
33	»	»	118	»
33,20	»	»	118	»
33,40	»	»	118	»
33,60	»	»	120	»
Poids supporté...	kil. 31,40	kil. 31	kil. 33,60	kil. 33,20

Moyenne 32,05 kil.; par millimètre 36,09 kil.

Nota. La plus légère secousse, en mettant les poids, occasione un surcroît d'allongement sensible.

III.

Mêmes fils, n° 7, non recuits.

Poids d'un mètre.................... 0^k, 006910
Diamètre........................... 0^m,001062
Section............................ 0, 000000888
Poids moyen supporté............... 65^k,50
Idem par millimètre.................. 73, 73
Allongement sous la charge............ 0, 0054
Allongement qui reste................ 0, 00075

Numéros des expériences.	Poids supporté.	Allongement sous le poids.	Allongement qui reste après la casse.
	kilog.	millim.	millim.
1	67	6	1
2	64	6	0,5
3	65	5	0,5
4	66	5	1
Moyenne	65,50	Moyenne. 5,5 —	*Id.*, rest. 0,75
Id., par mm. carr.	73,73		

OBSERVATION.

L'allongement du fil se fait sur son élasticité, il revient à sa première dimension lorsqu'on le décharge pendant l'expérience.

IV.

Mêmes fils, n° 18, non recuits.

Poids d'un mètre.................... 0^k, 069300
Diamètre........................... 0^m,003366
Section 0, 000008905
Poids moyen supposé................ 505^k,60
Idem par millimètre carré............ 56, 77
Allongement moyen.................. 0, 0058
Idem qui reste après la casse........... 0, 0009

Numéros des expériences.	Poids supporté.	Allongement sous le poids.	Allongement qui reste après la casse.
	kil.	millim.	millim.
1	522	3	0,5
2	506	8	0,5
3	506	6	1
4	506	5	1
5	488	5	0,5
Moyenne	505,60	Moyenne. 5,4 —	*Id.*, rest. 0,9
Id., par mm. carr.	56,77		

Expérience pour mesurer la progression de l'allongement du fil de fe

V.

Fil n° 7, de veuve Fleur.

Longueur du fil, 12m,20.

Poids.	Allongement total.	*Id.* par mètre.
18	4 millim.	0,0003
24	8	0,0006
32	14	0'0011
36	18	0,0015
40	22	0,0018
44	26	0,0021

On donne en chargeant une légère secousse, qui occasione un peu d'all ment; au bout de cinq minutes on mesure

	30	0,0025
50	35	0,0028
54	40	0,0032
58	48	0,0039
62	58	0,0047
64	60	0,0049
65	62	0,0051
66	64	0,0052

VI.

Expérience pour mesurer l'influence des ligatures.

Fil n° 13, de veuve Fleur.

Nœud tel qu'il est figuré dans le plan, fig. XI.

Nos des expér.	Poids soutenu.	
1	140	a cassé dans le nœud.
2	135	
3	146	
4	147	
Moyenne	142	

Ligature exécutée au pont de Genève, figuré dans le plan fig. XII.

Nos des expér.	Poids soutenu.	
1	148	a cassé hors de la ligature.
2	148	

VII.

Expérience pour mesurer la force des fils de fer réunis en faisceaux.

Fil n° 9, de veuve Fleur.

On place en A (fig. XXI) une poulie en fonte de 15 pouces de diamètre; on forme un faisceau de 44 brins, en passant vingt-deux fois le fil de fer alternativement sur la poulie et sous la poutre; on joint le premier au dernier bout en les tordant ensemble.

On commence à changer.

Sous le poids de 1,500 kil., les petites inégalités de tension qui existaient ont entièrement disparu; les deux faisceaux présentent des brins ayant l'air d'avoir tous une tension parfaitement égale; on met six ligatures de fil n° 1, recuit, de 2 à 3 pouces de long, et très-serrées.

Sous le poids de 4009 kilog. le faisceau se rompt; la rupture commence par un brin, et est aussitôt suivie par quatorze autres; comme la poutre n'a que $0^m,05$ à parcourir pour arriver à terre, il a y sept brins qui n'ont pas rompu, mais qui ont glissé de la rupture la plus voisine.

La moyenne n° $9 = 91,74 \times 44 = 4037$. Ces faisceaux ont soutenu 4009, ou 28 kilog. de moins que la moyenne.

VIII.

Expériences sur la ténacité du fil de fer de la fabrique de Laigle le plus fin, employé pour la carderie.

Poids d'un mètre........................... $0^g,322$
Diamètre................................... 0,0002294
Section.................................... 0,000000004138
Poids soutenu par millimètre carré............. $89^k,85$

1	$3^k,562$	moyenne 3,718
2	3, 700	
3	3, 800	
4	3, 900	
5	3, 600	
6	3, 750	

IX.

Expériences sur la ténacité des fils de fer de la manufacture de veuve Fl de Besançon.

Passe-perle, assez doux.

Poids d'un mètre........................ 2g,142
Diamètre.............................. 0,0005917
Section................................ 0,0000002752
Par millimètre carré..................... 85,73

1	22,50	moyenne, 23,60
2	23,52	
3	23	
4	25	
5	24	

Fil n° 1, doux, se séparant en filets quand on le casse.

Poids d'un mètre........................ 2g,342
Diamètre.............................. 0,0006188
Section.. 0,0000003009
Poids soutenu par millimètre............... 86g,11

1	25	moyenne, 25,96
2	26	
3	24,50	
4	24,50	
5	28	
6	27,75	

N° 2, doux.

Poids d'un mètre........................ 3g,064
Diamètre.............................. 0,0007078
Section... 0,0000003937
Poids soutenu par millimètre............... 86k,98

1	34	moyenne, 34, 25
2	34	
3	35	
4	34	

N° 3, cassant.

Poids d'un mètre	gr. 3,284
Diamètre	0,0007327
Section	0,0000004220
Poids soutenu par millimètre	kil. 80,84

1	37	moyenne, 34,12
2	33	
3	32,50	
4	34	

N° 4, cassant.

Poids d'un mètre	gr. 4,296
Diamètre	0,0008380
Section	0,0000005520
Poids soutenu par millimètre	kil. 76,61

1	40,50	moyenne, 42,30
2	41,50	
3	42,50	
4	43,00	
5	44	

N° 5, très-cassant.

Poids d'un mètre	gr. 5,082
Diamètre	0,0009115
Section	0,0000006531
Poids soutenu par millimètre	kil. 72,34

1	46	moyenne, 47,25
2	48,50	
3	48,50	
4	46	

N° 6.

Poids d'un mètre	gr. 6,398
Diamètre	0,001022
Section	0,0000008222
Poids soutenu par millimètre	kil. 76,08

1	65,70	
2	63,10	
3	58,00	moyenne, 62,56
4	62	
5	64	

N° 7.

	gr.
Poids d'un mètre........................	7,130
Diamètre................................	0,00108
Section.................................	0,0000009162
	kil.
Poids soutenu par millimètre...............	71,22

1	65,50	
2	64,50	moyenne, 65,25
3	64,50	
4	66,50	

N° 8, très-cassant.

	gr.
Poids d'un mètre........................	7,720
Diamètre................................	0,001123
Section.................................	0,0000009921
	kil.
Poids soutenu par millimètre...............	67,28

1	68,50	
2	64,50	moyenne, 66,75
3	69,00	
4	65	

N° 9, assez cassant.

	gr.
Poids d'un mètre........................	10,232
Diamètre................................	0,001293
Section.................................	0,0000013 15
	kil.
Poids soutenu par millimètre...............	69,77

1	89,30	
2	91	
3	92	moyenne, 91,74
4	93,50	
5	92,80	

N° 10, très-doux.

Poids d'un mètre		gr. 12,600
Diamètre		0,001435
Section		0,000001619
Poids soutenu par millimètre		kil. 64,84
1	104	moyenne, 105
2	97	
3	107	
4	109	
5	108	

N° 11, très-doux.

Poids d'un mètre		gr. 13,320
Diamètre		0,001476
Section		0,000001711
Poids soutenu par millimètre		kil. 58,56
1	94	moyenne, 100,25
2	107	
3	103	
4	97	

N° 12.

Poids d'un mètre		gr. 17,490
Diamètre		0,001691
Section		0,000002247
Poids soutenu par millimètre		kil. 55,52
1	123	moyenne, 124,80
2	123	
3	117	
4	130	
5	131	

N° 13.

Poids d'un mètre	gr. 19,800
Diamètre	0,0018
Section	0,000002544
Poids soutenu par millimètre	kil. 57,18

1	148	moyenne, 145,50
2	140	
3	148	
4	146	

N° 14.

	gr.
Poids d'un mètre	26,270
Diamètre	0,002072
Section	0,0000003376
	kil.
Poids soutenu par millimètre	49,32

1	168	moyenne, 166,50
2	162	
3	162	
4	174	

N° 15.

	gr.
Poids d'un mètre	30,310
Diamètre	0,002226
Section	0,0000003896
	kil.
Poids soutenu par millimètre	51,86

1	205	moyenne, 202
2	200	
3	205	
4	205	
5	205	
6	192	

N° 16, très-doux.

	gr.
Poids d'un mètre	37,890
Diamètre	0,002489
Section	0,0000004869
	kil.
Poids soutenu par millimètre	63,87

1	315	moyenne, 311
2	300	
3	315	
4	315	
5	310	

N° 17, doux et pailleux.

	gr.
Poids d'un mètre	44,440
Diamètre	0,002695
Section	0,000005711
	kil.
Poids soutenu par millimètre	68,15.

1	350	moyenne, 389,20
2	370	
3	375	
4	420	
5	421	

N° 18, doux.

	gr.
Poids d'un mètre	57,160
Diamètre	0,003087
Section	0,000007345
	kil.
Poids soutenu par millimètre	84,00

1	626	moyenne, 617.
2	617	
3	617	
4	608	

N° 19.

	gr.
Poids d'un mètre	74,600
Diamètre	0,003492
Section	0,000009586
	kil.
Poids soutenu par millimètre	78,23

1	735	moyenne, 750
2	754	
3	745	
4	766	

N° 20.

	gr.
Poids d'un mètre	103,536
Diamètre	0,00414
Section	0,0000133
	kil.
Poids soutenu par millimètre	65,74

1	905	moyenne, 874,75
2	860	
3	854	
4	880	

N° 21.

Poids d'un mètre	gr. 141,636
Diamètre	0,004812
Section	0,00001820
Poids soutenu par millimètre	kil. 62,52

1	1188	moyenne, 1138
2	1088	

N° 22, très-cassant.

Poids d'un mètre	gr. 181,596
Diamètre	0,005449
Section	0,00002333
Poids soutenu par millimètre	kil. 67,66

1	1611	moyenne, 1579
2	1547	

N° 23, doux.

Poids d'un mètre	gr. 216,006
Diamètre	0,005942
Section	0,00002775
Poids soutenu par millimètre	kil. 62,63

1	1764	moyenne, 1738,50
2	1713	

TABLEAU COMPARATIF DE LA FORCE DES FERS.

DÉSIGNATION DE LA QUALITÉ DES FERS.		DIMENSIONS.	POIDS SOUTENU.	TÉNACITÉ PAR MILLIMÈTRE.	OBSERVATIONS.
		millimètres.	kilog.	kilog.	
Fonte de fer.		6,7 sur 6,7	476	10,58	provenant d'un fourneau.
Fer de S. Chamond. .		8 sur 16 et 10		47,75	travaillé au procédé anglais.
Idem. idem.		10 diamètre.	3743	48	*Idem.*
Fer de Bourgogne. . .		13 sur 13	5226	30,45	
Idem. id.		13,5 sur 13,5	5435	29,70	chauffée au rouge suant, et refroidie lentement.
Idem. id.		13,3 sur 13,3	5280	29,70	coupée au milieu, soudée bout à bout sans étirer.
Idem. id.		10,15 sur 10,15	5688	55,20	coupée au milieu, soudée en sifflet, étirée.
Idem. id.		4,5 sur 4,5	1238	61,00	plus étirée que la précédente, sans soudure.
Fer, dit ruban *id.* . .		20,3 sur 1,7	1541	44,70	très-doux, filets spongieux à la cassure.
Fer tiré de Bourgogne, de fabrique inconnue. .	n° 8	1,172 diamètre.	41,30	38,24	recuit inégalement.
	7	1,062	31,40	36,09	recuit exactement.
	18	3,366	505,60	56,77	non recuit.
	7	1,062	65,50	73,73	non recuit.
Fil de Laigle.		0,2294	3,718	89,85	employé pour la carderie.
Passe-perle.		0,5917	23,60	85,73	assez doux.
FIL DE FER de la manufacture de veuve Fleur, de Besançon.	n° 1	0,6188	25,96	86,11	doux.
	2	0,7078	34,25	86,98	doux.
	3	0,7327	34,12	80,84	cassant.
	4	0,8380	42,30	76,61	cassant.
	5	0,9115	47,25	72,34	très-cassant.
	6	1,022	62,56	76,08	
	7	1,080	65,25	71,21	
	8	1,123	66,75	67,28	très-cassant.
	9	1,293	91,74	69,77	assez cassant.
	10	1,435	105	64,84	très-doux.
	11	1,476	100,25	58,56	très-doux.
	12	1,691	124,80	55,52	
	13	1,800	145,50	57,18	
	14	2,072	166,50	49,32	très-doux, sans ressort.
	15	2,226	202	51,86	
	16	2,489	311	63,87	très-doux.
	17	2,695	389	68,15	pailleux.
	18	3,087	617	84,00	
	19	3,492	750	78,23	
	20	4,140	874,75	65,74	
	21	4,812	1138	62,52	
	22	5,449	1579	67,66	très-cassant.
	23	5,942	1738,50	62,63	doux.

Expériences tirées des cahiers de l'école des Ponts-et-Chaussées, sur la résistance des fers tirés par les deux bouts.

Fer des mines du Berry pesant 544 livres le pied-cube, passé à la filière.

	4 lig. $\frac{48}{100}$ diamètre.		3,94 diamètre.		3,28 diamètre.	
nos	livres.		livres.		livres.	
1	6760	assez doux.	5560	doux.	2748	très-aigre.
2	7000	très-doux.	5800	doux.	3468	très-aigre.
3	6280	très-aigre.	5080	doux.	3036	aigre.
4	6760	assez doux.	5560	doux.	3612	assez doux.
5	7480	assez doux.	5320	assez doux.	3324	doux.
6	5560	très-aigre.	5960	assez doux.	3612	doux.
7	7240	doux.	5320	aigre.	3324	doux.
8	6040	assez doux.	5800	très-doux.	2604	pailleux.
9	7000	très-aigre.	4600	assez doux.	3036	assez doux.
10	5320	très-aigre.	4120	très-aigre.	3324	assez doux.
Moyennes.	6544 liv.		5312		3208	
Moyennes par lignes circulaires.	326 liv.		342		300	
Moyennes *idem* en kilogrammes.	161 kil.		168		147	
Moyennes par millimètre carré.	kil. 40,28		42,02		36,80	
Moyennes par millimètre circulaire.	kil. 31,63		33		28,88	

Fer carillon, même qualité.

	5 lignes 9 points carrés.		4 lignes carrées.		3 lignes carrées.	
nos	liv.		liv.		liv.	
1	12840	doux.	6520	un peu aigre.	5480	très-doux.
2	11160	doux.	6040	aigre.	4280	doux.
3	12600	très-doux.	6520	doux.	4920	doux.
4	11400	très-doux.	5720	aigre.	5000	doux.
5	11160	aigre.	7000	doux.	5080	très-doux.
6	11160	doux.	6680	un peu aigre.	4840	doux.
7	12680	très-doux.	5080	aigre.	4600	aigre.
8	13880	très-doux.	6520	aigre.	3880	doux.
9	14440	très-aigre.	»		4280	doux.
10	13080	doux.	»		4280	doux.

nos.	livres.	livres.	livres.
11	14680 très-doux.	»	3960 très-doux.
12	8840 assez-doux.	»	5000 très-doux.
		Moyennes.	
	12327liv.	6260	4633
		Moyennes par ligne carrée.	
	372	391	514
		Moyennes en kilogramme.	
	182	192	252
		Moyennes par millimètre.	
	35,75	37,72	49,50

Expériences faites par Buffon sur la résistance des bois de chêne chargés debout.

Nos	Longueur.	Largeur.		Épaisseur.		Poids sous lequel la pièce s'est brisée.
	pieds.	pouces.	lignes.	pouces.	lignes.	livres.
1	6	5	10	3	9	80664
2	6	5	10	4	10	81035
3	7	5	10	3	9	58523
4	7	4	8	3	9	41555
5	8	5	10	3	9	64069
6	8	5	10	4	9	86720
7	8	6		3	11	86915
8	8	4	11	3	8	46880
9	8	4	10	3	11	46880
10	8	6	11	5	10	127801

Moyenne des experiences faites par Buffon sur la résistance des bois de chêne chargés horizontalement.

Équarrissage.	Longueurs.								
	7	8	9	10	12	14	16	18	20
pouces.	livres.								
4 sur 4	5312	4550	4025	3612	2987				
5 5	11525	9787	8308	7125	6075	5100	4350	3700	3225
6 6	18950	15525	13150	11250	9100	7475	6363	5562	4950
7 7	32200	26050	22350	19475	16175	13225	11000	9425	8275
8 8	47875	39750	32800	27750	23450	27750	23450	16200	11485

Moyennes des expériences faites par divers auteurs sur la résistance des corps à l'écrasement, et tirés dans le sens de la longueur de leurs fibres, ramenées à des nombres ronds pour les besoins ordinaires.

	RÉSISTANCE à l'écrasement sur un cube d'un centimètre.	RÉSISTANCE à la traction sur une section d'un centim.
	kil	kil.
Basaltes	2,000	
Granit dur	700	
Granit ordinaire	400	
Pierres calcaires les plus dures	1,000	
Pierres calcaires ordinaires	500	60
Marbres blancs veinés et statuaires	300	
Grès le plus dur	900	
Grès tendre	4	
Brique très-dure	100	20
Brique ordinaire	40	
Plâtre	60	4
Mortier âgé de 18 mois, fait avec précaution et de bons matériaux	40	9
Mortier ordinaire, même âge	25	3
Chêne de France	400	980
Chêne anglais	250	700
Sapin anglais	130	800
Pin anglais	110	
Orme	90	
Fer forgé	5,000	4,000
Fer fondu	10,000	1,000
Métal de canon	25,000	2,500
Cuivre jaune	8,000	1,200
Étain fondu	700	300
Plomb fondu	500	120
Corde en chanvre	»	500

Voyez le *Traité de la résistance des fers*, par Duleau.

Nombre des expériences.	Noms des Auteurs.	Origine des fers.	Côté ou diamètre des fers.	Poids moyen porté par millim. carr.
			millim. carr.	kil.
22	Muschenbroeck....	Espagne, Suède et Allemagne	2,62	52,3
8	Poléni..	....	3,73	44,5
1	G. Renni........	Angleterre	6,35	39,2
1	*Idem*............	Suède...........	6,35	50,6
5	Perronet	....	6,77	50,7
9	Texier de Norbec. .	....	2,26 jusqu'à 9	56,3
2	Perronet	....	9,02	37,5
	Idem...........	....	12,97	35,9
4	Banks	....	25,04	52,1
6	Th. Tetfort.	Angleterre et Suède.	19,05 jusqu'à 27,51	40,4
5	S. Brown	Suède, et Galles en Angleterre.	28,57 jusqu'à 33,52	33,7
21	Th. Tetfort.......	Angleterre........	1,21 jusqu'à 2,54	44,4
1	Faite à Bakewell...	*Idem*...........	0,98	80,8
2	Buffon...........	France..........	2,26	59,5
11	Perronet.	*Idem*...........	7,62 jusqu'à 10,15	43,4
1	Sikingen	Suède	31,75	45,8
3	S. Brown.........	Angleterre et Russie.	34,92 jusqu'à 50,80	37,1

Moyenne entre tous les résultats précédens............. 45,00

Nombre des expériences.	FERS. Largeur.	Épaisseur.	Poids nécessaire pour rompre par millim. carr.	
	millim.	millim.	kil.	
3	9	9	18,1	à gros grains.
3	9	9	24	à grains moyens.
3	9	9	35,3	à grains fins.
Plusieurs.	9	9	35,3	moitié nerveux, m. à gros g
3	9	9	43,5	moit. nerv., m. à gr. moyer
3	9	9	62,4	même fer, mieux forgé, tout ner
2	13	6,7	32	environ moitié nerveux.
3	13	5,6 et 6,7	39,9	$\frac{2}{3}$ nerveux et $\frac{1}{3}$ grenu.
3	6	4,5 et 5,1	58,8	tout nerveux.
1	13,5	6,7	83,9	*idem.*
1	Diamètre.	6,7	92,3	*idem.*

Note 2.

La manière dont résistent les corps solides, lorsqu'on leur applique une for perpendiculaire à leur longueur, a fait depuis long-temps l'objet de la méditatic des physiciens et des géomètres (1), qui ont épuisé, on peut dire, tout ce qu'o pouvait écrire sur cet intéressant sujet; je renverrai donc à leurs écrits ceux q voudront se mettre au fait de l'état ou en est la science dans cette partie, et n contenterai de donner une idée de ce qu'on doit entendre par un solide d'égale ré sistance, et de faire quelques applications des principes les plus connus, à quelqu cas simples, que j'aurai à examiner; mais pour éviter d'entrer dans les discussior qui ont eu lieu sur la position de l'axe d'équilibre, je supposerai que ce point coïn cide avec celui qu'occuperait le centre de gravité, si l'effort sur le corps était h rizontal.

Ce cas, qui est exactement vrai, lorsqu'il est question de bâtisses de pont d'élé vation, s'éloigne si peu de la vérité pour la fonte de fer, qu'on peut sans inconvé nient se servir dans la pratique du même calcul lorsqu'on emploie cette matière il paraît que les bois sont loin d'être assujétis à cette loi, mais le grand nombr d'expériences que l'on possède sur leur résistance en travers ou perpendiculaire ment à la longueur de leurs fibres, dispensent d'établir des comparaisons entre ce deux manières de résister, parce qu'on peut toujours comparer directement leurs di mensions aux expériences connues. Cela posé, la surface AB, (fig. 25) pour offrir un

(1) Girard, *résistance des solides*, Paris, 1798.

résistance qui soit en équilibre avec un poids P, devant être nécessairement une fonction de la longueur du levier BC, au bout duquel il agit, nous donne le moyen de déterminer la forme que doit avoir un levier pour que toutes ses sections, AB, A′B′, A″ B″, résistent également à l'action de la puissance P, et pour cela supposons d'abord que la dimension seule de la hauteur soit sujette à varier. Si l'expérience a démontré que la section AB d'un levier résiste à un poids déterminé Q, en tirant dans le sens de sa longueur, il est évident qu'en appliquant ce poids en P, il fera un effort sur chacun des points de AB, dépendant de la longueur des bras de levier aB, a'B, a''B, comparés au levier Bc. La cohésion de la section AB, supposée la surface de rupture, sera donc égale au moment de la surface AB, multipliée par la cohésion du fer, et divisée par Bc, ce qui nous indique que pour produire par le moyen d'un levier sur une barre de fer, un mur, etc., de figure symétrique, le même effet qu'en appliquant la force perpendiculairement à la surface résistante, ou de rupture, il faut employer un levier qui soit égal à la distance de l'axe d'équilibre à la base de la surface de rupture, ou en prenant le centre de gravité pour centre de l'axe d'équilibre dont la hauteur soit la moitié de la base.

Les autres dimensions A′ B′, A″ B″ étant relatives aux longueurs des bras de levier B′ C′, B″ C″ doivent présenter une résistance décroissante, ou croissante comme ces longueurs : or, cette résistance étant composée, 1° de la surface en contact; 2° de la distance du centre de gravité à la base de cette même surface, ou surface de rupture; en nommant s l'élément variable de la première, x la seconde, nous aurons en désignant par L le levier AB, $L = sx$; mais, comme les quantités s et x varient suivant la même loi, on pourra mettre ce rapport sous la forme de $L = ax^2$, équation de la parabole, et qui nous indique que les leviers, ou solides d'égale résistance d'une épaisseur uniforme, chargés par le bout, doivent en avoir la figure.

Si l'on suppose, au contraire, que la hauteur du levier ne varie pas, mais bien la largeur, il est évident que la génératrice du solide devient un triangle, puisque la position du centre de gravité reste toujours la même.

Enfin, si le levier était un solide de révolution, ou ayant pour élément varié une surface quelconque, la cohésion variant comme les carrés des dimensions, et les distances du centre de gravité comme leurs premières puissances, l'équation ci-dessus deviendrait $L = ax^3$, dans laquelle la constante a désigne la cohésion du corps, ainsi que le rapport de la distance du centre de gravité de la surface de rupture avec un des côtés de la figure.

Il est aisé de conclure de là que toutes les fois qu'un corps est soumis à un effort perpendiculaire à ses fibres ou à la direction de la gravité, s'il agit comme masse pesante, on devrait lui donner la figure indiquée ci-dessus; mais, comme cela entraî-

nerait la plupart du temps dans des détails et des calculs trop compliqués, on se contente de renforcer les parties les plus fatiguées, et diminuer l'épaisseur de celles qui sont le moins exposées. Ainsi, l'on sait que l'on donne plus d'épaisseur à la base des murs destinés à soutenir les voûtes qu'à la partie sur laquelle s'appuient les cintres, et que l'on conserve au milieu des poutres toute la force possible, mais que l'on ne craint pas de les affaiblir par les extrémités.

La résistance d'une masse dont les arêtes sont verticales, et qui agit par son poids est absolument indépendante de sa hauteur lorsqu'on applique la puissance à son extrémité, car la longueur du levier qui agit pour la renverser croît comme son augmentation de poids; cependant pour que les choses se passent ainsi il faut supposer à la pile une cohésion telle que ses parties ne puissent pas se désunir entre elles; mais, comme dans les bâtisses fraîches cette condition n'existe pas, on est obligé, pour obtenir tout l'effet indiqué par le calcul, d'en lier les diverses parties. Je vais examiner le cas où la cohésion des mortiers est encore très faible, en partant des expériences, dont on trouvera le détail à la fin de cette note. Soit une pile AHMB, fig. 21, sollicitée au renversement par une force HE, appliquée au point H, la séparation aura lieu suivant une ligne HB, et la résistance réduite à celle de l'élément BHM, multiplié par la distance xB de son centre de gravité à l'axe de rotation B et divisé par la hauteur de la pile, si l'on transportait le point d'appui successivement en T, I, A; il faudrait pour calculer la résistance déterminer la position du centre de gravité des sections THMB, IHMB, et opérer comme ci-dessus.

Il est évident que, si dans ce mouvement la pile a une cohésion quelconque, elle entraînera à sa suite des portions plus ou moins considérables de maçonnerie; ainsi l'on peut dire que sa résistance est composée de celle des parties BHM, BTHM, etc. Plus la cohésion ou le poids que pourrait soutenir le mortier dans les sections BH, BT, BI, suivant que la force sera appliquée en H, en T ou en I; on voit donc que, si cette cohésion est insuffisante il faudra lier entre elles les diverses parties pour obtenir l'effet indiqué par le calcul de la masse entière.

Examinons actuellement ce qui se passerait si le câble FH auquel est appliquée la force, était fixé en A (fig. 22) à un roc ou tout autre corps solide et indépendant de la pile; on pourra, en faisant abstraction des frottemens, regarder les deux branches AH, FH comme ayant la même tension, et substituer à ces deux composantes la résultante HL, dont l'expression dépendra de la valeur HF et de l'angle AHF, toutes choses connues; pour avoir l'expression de l'effort qu'elle fait pour renverser la pile, nous abaisserons la perpendiculaire BL qui sera la longueur du levier avec lequel agit la force HL, pour renverser la pile; son expression sera égale à BL × HL, et dépendra par conséquent du point où sera appliquée la force H, puisque sa position sur la ligne HE déterminera la longueur de BL, et que

lorsque la pile sera assez large pour que la direction de HL passe en de-ça de B; la tendance au renversement sera nulle et l'effort total employé à écraser la pile.

Si l'on suppose que le point A s'éloigne indéfiniment du pied de la pile, la résultante HL deviendra de plus en plus petite eu égard aux composantes AH, FH, et la tendance au renversement assez petite pour qu'on puisse substituer des pallées en bois aux piles ou culées en maçonnerie; le frottement exercé alors sur le haut de la pallée sera assez fort pour empêcher le glissement des câbles, s'ils n'y étaient déjà arrêtés, et la tension de chaque côté sera proportionnelle aux longueurs des perpendiculaires AD, AC, abaissées du pied de la pallée sur les directions de la force, et l'on pourrait recommencer les mêmes raisonnemens que ci-dessus pour évaluer l'effort exercé sur un massif PQRM auquel on aurait amarré les câbles. En effet, la force PH pourra être décomposée en deux, l'une PR tendant à enlever le massif, l'autre PQ qui tendra à le faire glisser en avant; si donc on a disposé les choses de manière à empêcher cet effet, soit ou moyen des pilots enfoncés en terre, ou que le sol antérieur fût assez ferme pour qu'on ne craignît pas sa déflexion : il est évident qu'il suffira de faire équilibre à la force PR. J'ai toujours supposé cependant pour éviter d'entrer dans ce calcul que l'on rendrait le massif égal à la somme totale de la traction pour compenser son manque de cohésion probable.

Lorsque les lignes HA, HF diffèrent peu d'un angle droit, on peut pour éviter le calcul prendre AH pour AC, dont la différence devient alors extrêmement petite, et c'est ce que j'ai fait dans le cours de l'ouvrage pour plus de simplicité.

Expériences sur le rapport de la résistance de la fonte de fer tirée en long et chargée en travers.

I.

On saisit avec un étau, et l'on assujétit dans une position horizontale la tête d'un barreau tiré d'un fourneau en fonte de fer ayant 5 pouces de long et détaillé à la lime, jusqu'à ce qu'il eût 3 lignes de côté, soit 9 lignes carrées; la fonte est très douce, susceptible de se scier et limer facilement; la cassure est d'un grain fin gris de perle, et blanche comme du fer lorsqu'on la lime. La surface de rupture est indiquée par un épaulement présentant une section plus considérable que celle du reste de la barre; on charge avec du sable que l'on met dans un baquet suspendu au barreau, à 4 pouces de distance de la surface de rupture. Un fil de fer, dont la pointe coïncide avec l'extrémité du barreau, est destiné à mesurer la flexion.

Le barreau casse sous le poids de $17^{k},80$.

La flexion, au moment de la rupture, est d'environ une ligne.

II.

Même disposition que le n° I.

Le barreau casse sous le poids de $18^k,80$.

La flexion est d'environ une ligne et demie.

Moyenne des deux expériences précédentes, $18^k,30$.

III.

La même barre tirée dans le sens de la longueur a supporté 448 kilog.

IV.

Même disposition que le n° III, 504 kilog.

Moyenne des deux expériences, 476 kil. soit $10^k,58$ par millimètre carré, ou $52^k,90$ par ligne carrée.

Nous trouverons dans le plan de rupture la position d'un point dont la distance à la base de ce plan sera la longueur du levier, qui, multiplié par la surface de rupture et divisé par la longueur du levier, à l'extrémité duquel agit le poids qu'a soutenu la barre chargée perpendiculairement à sa longueur, nous représente la cohésion de la fonte lorsqu'elle agit de cette manière, en observant que la cohésion de la fonte par ligne carrée $= 52,90$, et désignant par L la longueur du levier, nous aurons $\frac{52,90 \times 9 \times L}{48} = 18,30$ $L = 1,844$.

Comme cette quantité ne s'éloigne que d'un cinquième environ de 1,50 qui serait donné par la position du centre de gravité, et que d'ailleurs l'erreur est à l'avantage de la solidité, en prenant pour base du calcul la ténacité de la fonte tirée parallèlement à sa longueur, je l'ai indiquée comme pouvant être employée dans la pratique.

Expériences sur la pesanteur spécifique et la résistance au renversement de bâtisse.

On fait élever le 23 février 1824 une pyramide carrée de 3 pieds de côté et 9 pieds de haut, en pesant exactement les matériaux d'une tranche comprise entre deux plans horizontaux de 3 pieds 4 pouces de hauteur; il résulte qu'il y est entré $1998^k,50$ pierres $568^k,90$ mortiers; on a pesé séparément le sable et la chaux ne contenant que son eau de fusion qu'on suppose solidifiée dans la cristallisation du mortier, on n'a pas tenu compte de celle employée à broyer le mortier; une partie étant sensée s'être évaporée par la dessiccation, la solidité de la tranche égale $3 \times 3 \times 3\frac{1}{3} = 30$ pieds cube.

Son poids $= 1998,50 + 568,9 = 2567,40$. Nous avons le poids du mètre cube, en faisant la proportion suivante : $30 : 2567,40 :: 29,17$ volumes du mètre en pieds : x ou $x = 2496^{k},50$, et pour l'élément de sa stabilité $(0^{m},975)^2 \times 0,4875 \times 2496,50 = 1156^{k},87$.

On accroche un câble en fer à une barre A (fig. 24) qui traverse la pile ; un fil MG est tendu par un poids D, et indique la distance des points MG ainsi que la flèche EF. On charge en C dans une chaudière en fonte de fer dont le poids est de 320 kil., d'où l'on déduit l'effort produit dans la direction MG.

EXPÉRIENCES.

DATES	EFFORTS.	OBSERVATIONS.
17 mars.	826	La pile s'ouvre en A de 4 millimètres ; la lézarde continue jusqu'en R, où s'établit l'axe de rotation ; la pile est enlevée d'une seule pièce.
20 mars.	830	La pile s'ouvre de 2 millimètres ; la corde en fer casse, elle revient subitement à son à-plomb.
25 mars. On amarre la corde en fer en T à un anneau scellé dans une forte pierre.	560	Une forte lézarde en T R ; elle perd 7 millimètres de son à-plomb.
26 mars. On amarre à un anneau B fixé dans le roc ; la corde en fer passe sur le sommet H.	1274,20	La corde en fer fait un mouvement provenant de quelques fils tendus inégalement qui s'égalisent : il en résulte une forte lézarde en S ; la boucle B est arrachée.
26 mars. On amarre à la boucle B scellée plus solidement.	1336	La lézarde S s'ouvre considérablement ; la pile perd $0^{m},1$ de son à-plomb ; la moufle qui sert à élever la chaudière en fonte casse ; la pile revient à sa position après trois ou quatre oscillations qui font craindre de la voir crouler.
13 avril. On met une équerre I au haut de la pile, à chacune des branches de laquelle est arrêtée une corde en fer qui a la liberté de pivoter sur son axe.	1533	La pile ne s'ouvre presque pas.
25 juin.	915	L'équerre I glisse en avant, ce qui occasione une violente secousse à la pile et la fait lézarder en T, S et A : elle devient hors de tout service.

Note 3.

Les premières recherches sur les ponts suspendus, ont nécessité l'examen des questions de mécanique qui se rattachent aux propriétés des courbes formées par les corps flexibles, auxquels on suspend des poids avec des circonstances données, et il a fallu pour ces première[redacted]nations, employer les symboles algébriques au moyen desquels on est pa[redacted] déterminer, avec une grande exactitude, toutes les conditions; mais ce[redacted] a appris que l'on pouvait y substituer des rapports très-simples, et tellement approchés de la vérité, qu'ils sont bien au-dessous de toutes les erreurs que l'on peut commettre dans la pratique et l'exécution, et qui dispensent ainsi de revenir sur un travail qui, le plus souvent, ne peut s'accorder avec les occupations d'un constructeur.

La courbe que forment les chaînes ou les câbles employés aux ponts suspendus varie suivant la manière dont on les charge; lorsque le poids est également réparti sur toute la longueur, ce qui a lieu quand le passage est établi directement sur les cables, ils affectent la forme de la chaînette; cette courbe est une de celles que l'on nomme transcendante, parceque son expression ne peut pas être représentée par une équation finie, elle est de la forme de $y = c \log. \left(\frac{x + c + s}{c}\right)$ $s = \sqrt{2cx + x^2}$ x représentant l'abscisse et y l'ordonnée, une des propriétés de cette courbe est que le poids, lorsqu'il est également réparti sur toute sa longueur, peut être regardé comme s'il était appliqué à la rencontre des deux tangentes au point d'attache, ou à l'extrémité de la soustangente, d'où il suit que l'effort qu'il exerce sur chacun de ses points est proportionnel au rapport de la tangente à la soustangente.

Il faut, pour faire usage de cette équation, déterminer la valeur de la constante c; mais comme elle est sujette à des développemens de série très-longs, je me puis servi de la méthode d'approximation suivante, au moyen de laquelle on peut l'obtenir promptement d'une manière très-approchée.

$$\text{Soit } x = 10$$
$$y = 50$$

Comme la courbe s'éloigne peu de l'arc de cercle A C, qui passe par les points ACB, nous substituerons dans l'équation $c = \frac{s^2 - x^2}{2x}$ sa valeur à la place le s, pour obtenir une première valeur approchée de c, effectuant le calcul, nous avons, (fig. 30),

$$\text{Corde DF} = \sqrt{y^2 + x^2} = 50{,}9901,$$

$$\text{Arc DF} = \frac{\pi ac^2}{x} \times \frac{\text{arc sin } y}{360} = 51{,}3242,$$

$$c = \frac{s^2 - x^2}{2x} = 126{,}70$$

Cette valeur, substituée dans l'équation

$$y = c \log. \left(\frac{x + c + \sqrt{2cx + x^2}}{c} \right)$$

pour avoir la valeur de y correspondante à celle que nous avons supposée à s, donne $y = 50{,}0156$; résultat qui nous ind[illegible] rc de cercle est plus grand que la courbe, et qu'il convient de donner à [illegible] eur un peu moindre ; mais, comme elle se trouvera nécessairement comp[illegible] entre celle de l'arc AC et de sa corde, mais beaucoup plus rapprochée de la première, nous prendrons quatre moyennes successives entre ces deux valeurs, et nous obtiendrons :

$$\frac{51{,}3242 + 50{,}9901}{2} = 51{,}1572$$

$$\frac{51{,}3242 + 51{,}1572}{2} = 51{,}2407$$

$$\frac{51{,}3242 + 51{,}2407}{2} = 51.2825$$

$$\frac{51{,}3242 + 51{,}2825}{2} = 51{,}3033$$

Substituant cette dernière à la place de s, nous obtenons $c = 126{,}6015$ $y = 49{,}9943$. Cette valeur est au-dessous de y de 0,0057. Celle trouvée précédemment la surpasse de 0,0157 ; en augmentant la valeur de s proportionnellement aux différences ci-dessus, nous obtiendrons $s = 51{,}3091$, qui donne $c = 126{,}6322$ $y = 50{,}0005$; approximation que l'on pourrait pousser plus loin, si on le jugeait nécessaire.

Connaissant la valeur de l'abscisse x et de l'ordonnée y on déterminera par le moyen de cette équation, celles de toutes les autres lignes dont on a besoin, mais comme la longueur de la tangente diffère très peu de celle du double de l'ordonnée on peut dans la pratique remplacer l'une par l'autre. Supposons en effet que l'on ait réellement ST $= 2x$, l'expression de la sous-tangente étant

$$\text{ST} = \frac{ys}{c} = \frac{y\sqrt{2cx + x^2}}{c}, \text{ nous aurons } 2x = \frac{y\sqrt{2cx + x^2}}{c}, \text{ et } y = \frac{2cx}{\sqrt{2cx + x^2}};$$

différentiant cette expression, on obtient :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2c\sqrt{2cx + x^2} - \dfrac{4c^2x - 4x^2c}{2\sqrt{2cx + x^2}}}{2cx + x^2}$$

éliminant $\frac{dy}{dx}$ au moyen de son équation $\frac{dy}{dx} = \frac{c}{s} = \frac{c}{\sqrt{2cx + x^2}}$, et réduisant, nous obtenons $x = o$; mais comme rien n'indique que les autres valeurs s'anéan-

tissent, on peut supposer $y = \alpha$; ces considérations introduites dans l'équation $s^2 = 2cx + x^2$, rendent c infini; car on a $c = \frac{s^2 - x^2}{2x}$ $c = \frac{s^2}{0}$, ce qui nous indique que le cas où la soustangente est exactement double de l'ordonnée, est celui où cette dernière perd tout-à-fait sa valeur lorsque l'abscisse reste la même.

On voit par là que moins le pont aura de courbure, plus le rappport ci-dessus, de 1 à 2, approchera de l'exactitude; mais, pour trouver jusqu'à quel point on peut l'employer, supposons que l'abscisse $x = 20$, la constante $c = 100$ pour déterminer y, nous mettrons dans l'équation de la chaînette les valeurs que nous venons d'assigner à x et à c, ce qui nous donnera :

$y = 100 \log. \left(\frac{20 + 100 + \sqrt{2 \times 100 \times 20 + 400}}{100}\right)$ d'où $y = 62{,}237$, déterminant ensuite la valeur de s, longueur de la courbe, et celle de la soustangente $ST = \frac{ydx}{dy} = \frac{ys}{c}$ à cause de $\frac{dx}{dy} = \frac{s}{c}$ on a $ST = 41{,}283$ $s = 66{,}332$, ou un trentième environ de plus que par l'approximation.

Comme la tangente se rapproche beaucoup de l'abcisse lorsque la courbure est peu considérable, j'ai supposé, dans la pratique, que l'on pouvait prendre l'un pour l'autre, soit en effet la force de l'action représentée par AB (fig. 30), décomposée suivant les directions DB, CB nous aurons pour le rapport en question $\frac{DB}{AB}$ ou à cause $AB = 4EF$, $\frac{\sqrt{DE^2 + 4EF^2}}{4EF}$ qui se réduit à $\frac{DC}{8EF}$ si l'on prend DEC pour DBC.

Lorsque le fardeau au lieu d'être distribué régulièrement sur les câbles, l'est sur une ligne horizontale, la courbe des chaînes devient une parabole dont l'équation est $y^2 = Px$. La soustangente de cette courbe jouit de la propriété d'être double de l'ordonnée, et donne ainsi un rapport exact pour ce cas qui est le plus fréquent. Quant à la longueur de l'arc, il ne peut être représenté que par une série de termes infinis; mais on peut se contenter du premier pour les besoins ordinaires, son expression est de la forme de $S = y\left(1 + \frac{2x^2}{3y^2}\right)$ et se rapproche aussi d'autant plus de la vérité, que x est plus petit

Enfin, l'on peut supposer la courbe chargée de poids inégaux, et suivant une loi donnée, et l'on conçoit qu'il en résultera des variations dans la forme de cette courbe; qui, toutes seront assujéties à des équations plus ou moins compliquées. Comme la détermination de ces lignes demanderait une recherche analytique fort délicate, et sortirait absolument de mon but, je me dispenserai d'y entrer, et

renverrai au beau mémoire de monsieur Navier sur les ponts suspendus, où ces questions ont été traitées avec toute la profondeur qui caractérise cet habile mathématicien. L'objet auquel cette recherche pourrait être appliquée serait la détermination des cordes verticales, qu'il me paraît plus simple et plus sûr de déterminer par l'expérience, en chargeant chacun des points d'une courbe de poids proportionnels, et répartis de la même manière que ceux qu'elle doit supporter lorsqu'elle sera en fonction.

J'ai supposé dans tout ce qui précède, que l'on pouvait prendre le polygone funiculaire pour la courbe, ce qui n'est pas exactement vrai, puisque chacun des points détachés détermine un angle de ce polygone, dont le nombre des côtés est égal à ceux des points d'attache plus un ; mais comme la différence est très-petite, et qu'elle est d'ailleurs relative au nombre de ces points, j'ai cru qu'il était suffisant de s'en tenir à la détermination de la courbe.

On voit d'après cela que, lorsque plusieurs courbes d'égales ou inégales longueurs, concourront à l'ensemble d'un pont, on pourra établir une relation entre leurs flèches et le poids dont elles seront chargées, de manière que la tension aux extrémités soit partout égale ; les moindres poids solliciteront donc les parties qui portent sur le haut des piles à exercer un frottement qui tendra à en altérer la durée, et il sera bien de leur donner une résistance capable de faire équilibre aux plus grandes différences de charge et y lier les câbles.

Les amarres des culées faisant suite aux câbles, se trouveront dans ce cas, lorsqu'elles seront inclinées à la verticale; mais cet inconvénient n'aura pas lieu lorsque l'amarre coïncidera avec cette ligne, puisque l'une des deux conditions nécessaires à l'existence de la courbe deviendra nulle. On évitera encore par cette disposition l'effet d'allongement des chaînes d'amarre, provenant de la charge et de la température; et l'on mettra à l'abri de la pluie toute cette partie du système, ce qui lui assurera une durée indéfinie, et débarrassera les routes d'entraves inutiles.

Pour trouver la variation de longueur des chaînes par l'effet de la température, ainsi que l'augmentation de flèche qui en résulte, nous observerons que le fer, suivant Smeaton, se dilate de 0,0000126 par chaque degré du thermomètre centigrade. Supposons le pont construit par une température de + 10, une variation de 20° tant en dessus qu'en dessous de ce terme, portera cette fraction à 0,000252. Pour voir quel sera l'abaissement ou l'élévation qui pourra en résulter dans le plancher du pont, supposons, comme ci-dessus,

$$y = 50$$
$$x = 10$$
$$s = 51{,}3086$$

la valeur de S' deviendra $51{,}3086 + 51{,}3086 \times 0{,}000252 = 51{,}3215$.

Substituant cette valeur dans celle de la chaînette, celles de C et de x deviennent $C' = 126{,}013$, $x' = 10{,}05$, c'est-à-dire qu'une variation de 20° en occasionera une dans la longueur des cordes de 0m,0129, et dans la hauteur du plancher de 0,05.

Si l'on avait pris à la place des arcs S, S' les cordes qui les soustendent, on serait parvenu à un résultat assez approché pour de petites variations. En effet, le calcul effectué donne

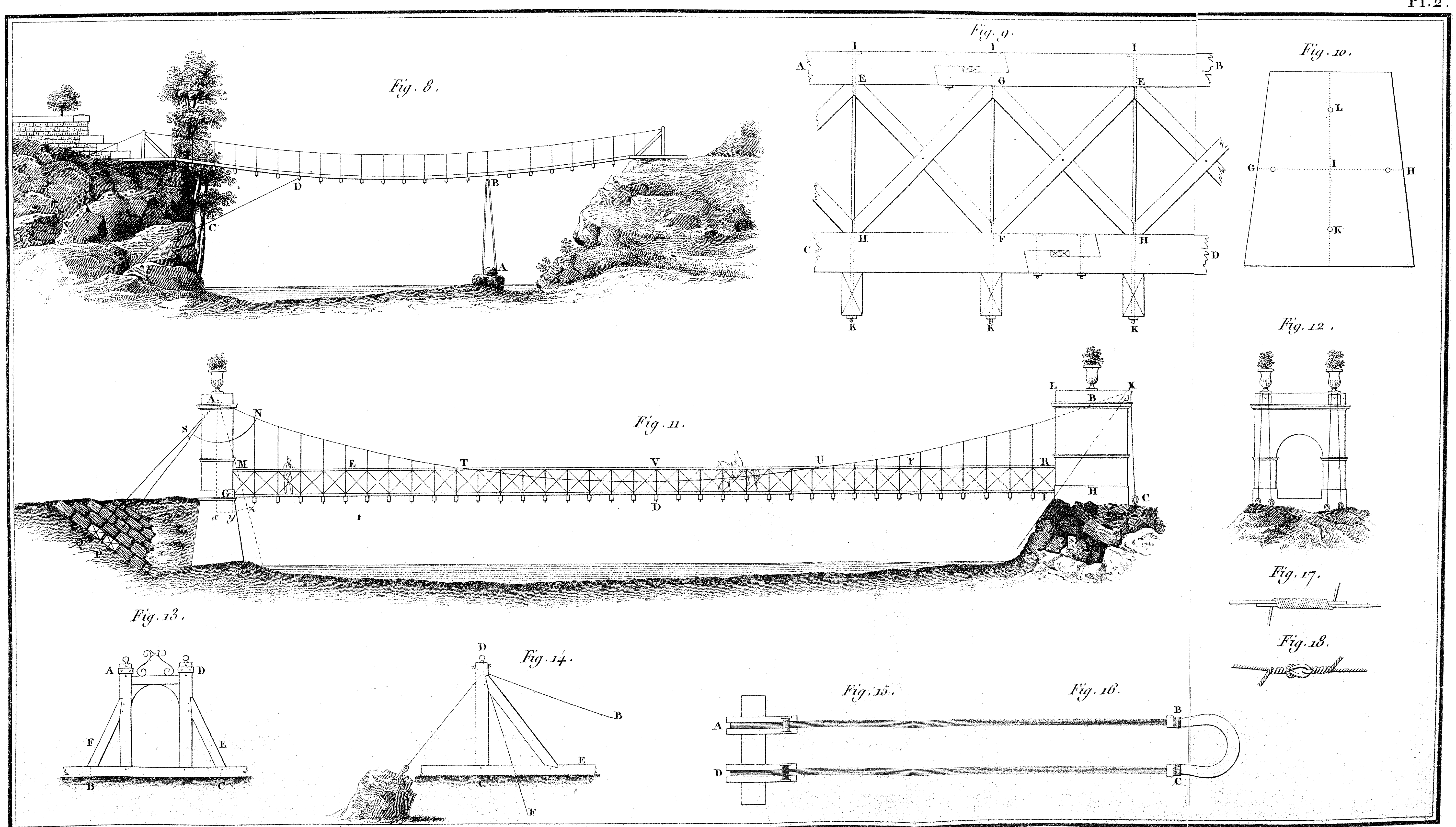
$$\text{corde } S = \sqrt{x^2 + y^2} = 50{,}9902,$$
$$\text{corde } S' = 50{,}9902 + 50{,}9902 \times 0{,}000252 = 51{,}0030$$
$$x' = \sqrt{(51{,}0030)^2 - (50)^2} = 10{,}065.$$

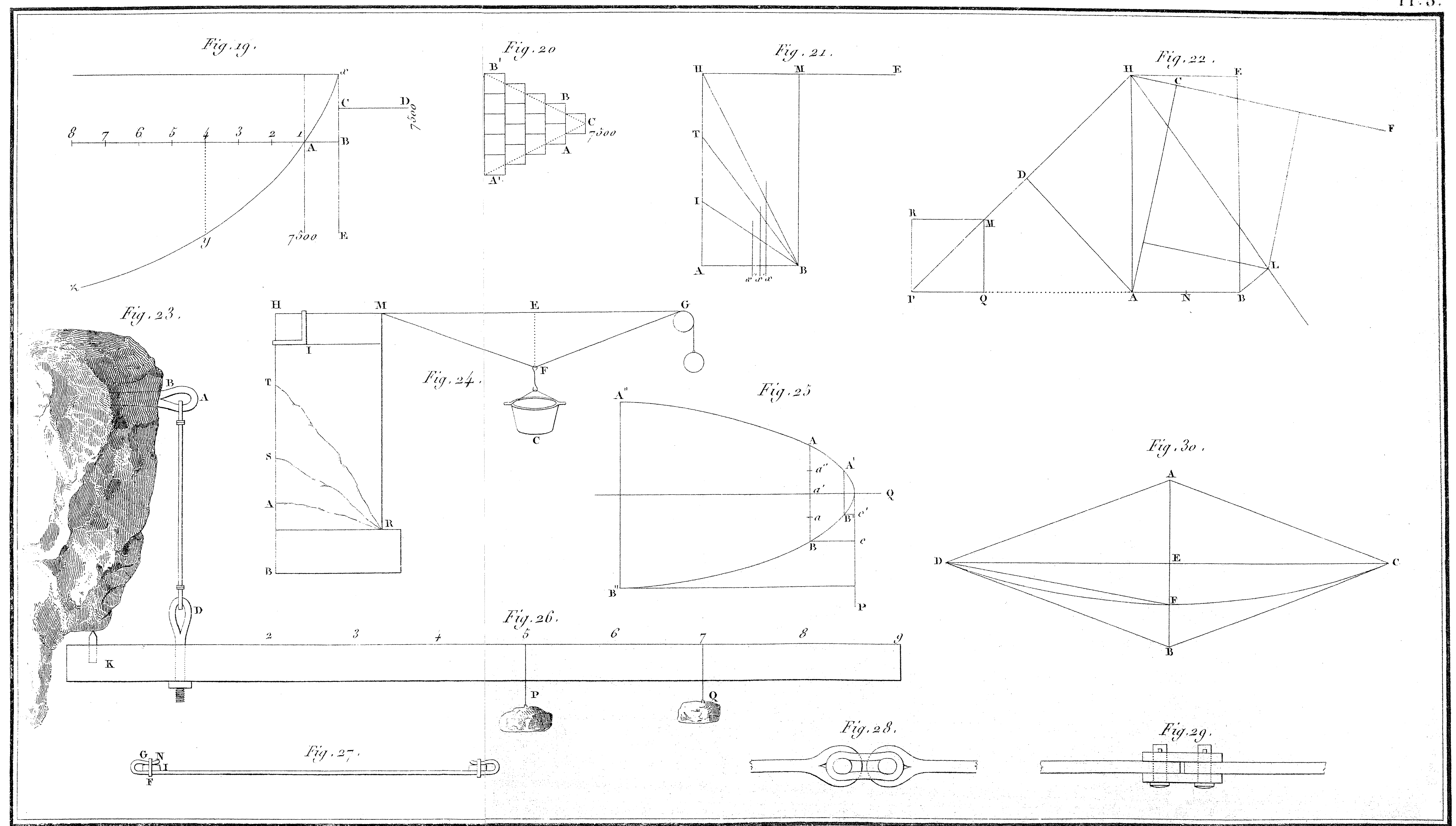
FIN DES NOTES.

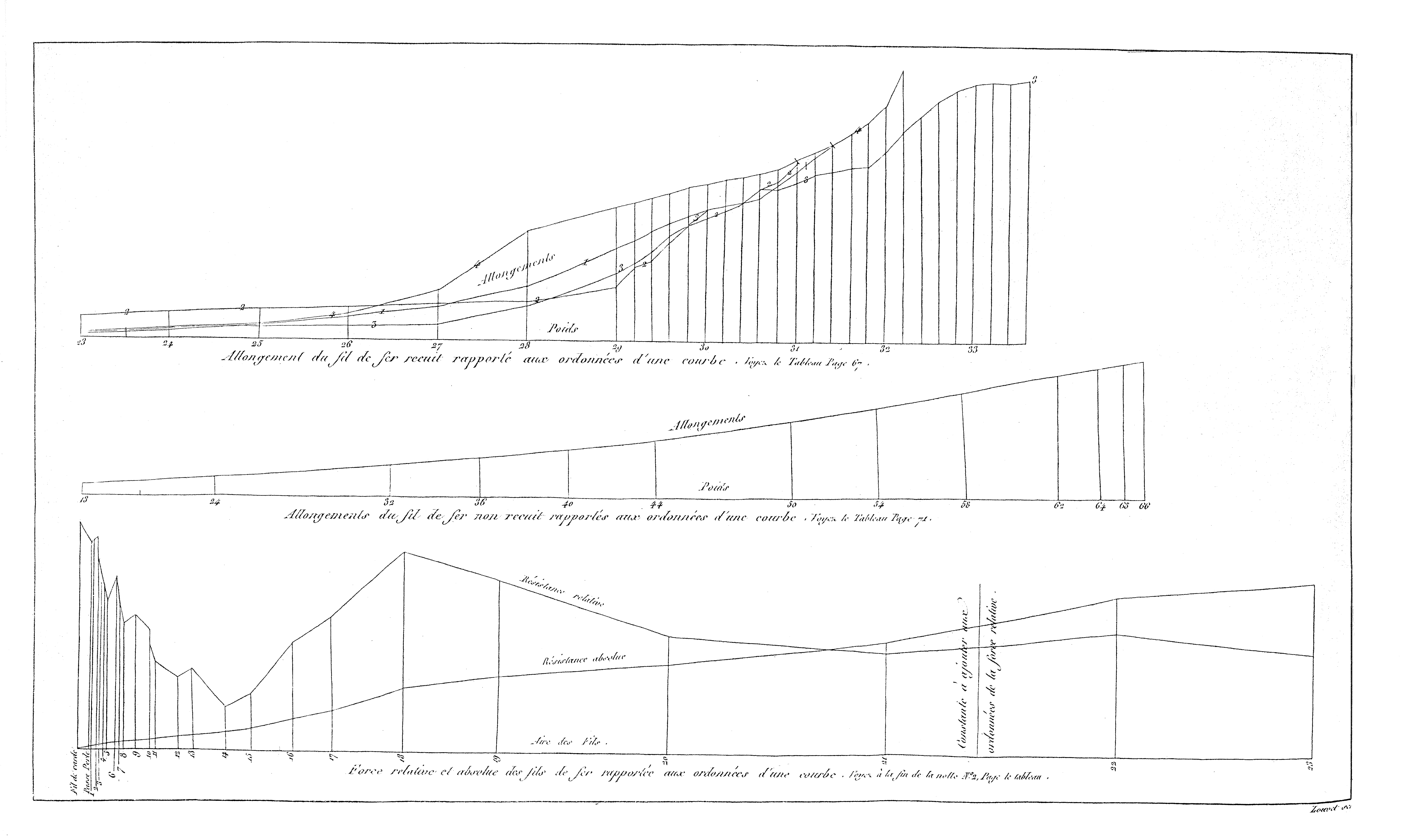
TABLE.

FIN DE LA TABLE.

Pl. 1.


Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 12.
Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 15.
Fig. 16.
Fig. 17.
Fig. 18.


Fig. 19.
Fig. 20
Fig. 21.
Fig. 22.
Fig. 23.
Fig. 24.
Fig. 25
Fig. 26.
Fig. 27.
Fig. 28.
Fig. 29.
Fig. 30.


Allongements
Poids
Allongement du fil de fer recuit rapporté aux ordonnées d'une courbe . Voyez le Tableau Page 67 .
Allongements
Poids
Allongements du fil de fer non recuit rapportés aux ordonnées d'une courbe . Voyez le Tableau Page 71 .
Résistance relative
Résistance absolue
Aire des Fils .
Constante à ajouter aux
ordonnées de la force relative .
Fil de corde
Basse Perle
Force relative et absolue des fils de fer rapportée aux ordonnées d'une courbe . Voyez à la fin de la notte N°2, Page le tableau .
Louvet sc.